



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL PARA INICIANTES EM
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS**

Franklin Puker de Sousa

2020

CAMPO GRANDE|MS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM MANUAL PARA INICIANTES EM
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS**

FRANKLIN PUKER DE SOUSA

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Santos Silva

CAMPO GRANDE

DEZEMBRO / 2020

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente e sobre todas as coisas, porque Ele é digno de toda honra, de toda a glória e de todo o louvor.

Ao professor Dr. Arthur Santos Silva, pela paciência, pela orientação na realização deste trabalho e por todo apoio fornecido no decorrer do curso de pós-graduação. Sobretudo, pela amizade, ensinamentos e valores que vão muito além da academia. Admiro-o muito.

Às mãos que proveram meu sustento, calejadas muitas vezes. Às mãos que me alimentaram, as quais se queimaram muitas vezes. Àqueles que acordaram de madrugada para me socorrer. Àqueles que enfrentaram fila para que eu estudasse. Àqueles que me ensinaram o caminho que devo trilhar, na Graça do Filho de Deus, o que para mim foi, é, e sempre será, a maior herança. Aos joelhos que se dobraram a meu favor. Aos meus pais, Claro e Regina, e ao meu irmão, Samuel, por estarem sempre presentes em minhas conquistas, pelo carinho, apoio e dedicação no decorrer de minha vida.

À Barbara, meu amor, esposa e mulher dos meus sonhos, por todo apoio, incentivo, paciência, companheirismo e por fazer com que eu me sinta, a cada novo dia, o homem mais feliz do universo. Você é única.

A todos os amigos que fazem parte da minha caminhada e que, ao longo do tempo, contribuíram na minha formação pessoal e profissional.

A todos os professores e professoras que já passaram em minha vida, desde a pré-escola até o presente momento.

A todos aqueles que, de alguma forma, me auxiliaram a sempre seguir em frente, ante os obstáculos da vida. Seja por orações ou pela ajuda nos momentos em que mais precisei, ainda que não me lembre ou que não os conheça, meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

“E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse caridade, nada seria.”

I Epístola do Apóstolo Paulo aos Coríntios, 13:2

RESUMO

A simulação computacional do desempenho de edifícios é uma ferramenta aplicável em todas as etapas de projeto, além de políticas, programas, normativas e regulamentos relacionados à eficiência energética do ambiente construído. O uso desta ferramenta possibilita ao projetista verificar as respostas térmicas e energéticas da edificação, analisar a influência dos parâmetros de projeto no desempenho termoenergético e propor soluções para atingir níveis desejáveis de eficiência energética e conforto térmico das edificações. Dada sua abrangência, a literatura científica nacional registra uma série de produções que contemplam diversas possibilidades de uso desta ferramenta. Entretanto, no que tange ao uso de simulação especificamente para fins educacionais, ainda são poucos os materiais disponíveis, principalmente quando destinados ao ensino de iniciantes. É necessário, portanto, oferecer suporte teórico e prático a todos aqueles que desejam aprender a simular, em especial aos estudantes de graduação e pós-graduação das áreas de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, e aos profissionais que têm a intenção de utilizar a ferramenta em seus projetos. Frente ao exposto, esta dissertação apresenta os passos que conduziram ao desenvolvimento de um manual para o ensino de iniciantes em simulação do desempenho de edifícios. Para tanto, foram analisados exemplares escritos em língua pátria voltados ao ensino de simulação, bem como produções nacionais e internacionais relacionadas aos processos de ensino-aprendizagem. Estas referências, então, foram utilizadas na concepção, didática, organização e exposição dos conteúdos do guia. Quanto à demonstração da simulação na prática, utilizou-se o programa EnergyPlus™, sendo a escolha deste mecanismo motivada por aspectos como: gratuidade, amplo escopo, código aberto, liberdade para análise dos dados de saída, frequentes atualizações de software, auditorias e creditações por organizações e laboratórios reconhecidos em escala global, disponibilidade de documentos de referência sobre todos os parâmetros de entrada do programa, além de ser utilizado por usuários e pesquisadores do mundo todo. O produto resultante desta dissertação, intitulado “Manual de introdução à simulação do desempenho de edifícios – um curso para iniciantes no software EnergyPlus™”, foi disponibilizado para visualização e download na página oficial do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Espera-se, com este material, angariar novos usuários do EnergyPlus™, fomentar pesquisas na área de simulação computacional termoenergética e contribuir para a formação acadêmica e intelectual de seus leitores.

Palavras-chave: manual, didática, simulação do desempenho de edifícios, iniciantes, EnergyPlus.

ABSTRACT

Building performance simulation is a tool applicable to all stages of design, in addition to policies, programs, standards and regulations related to the energy efficiency of the built environment. The use of this tool allows the designer to check the building's thermal and energy responses, analyze the influence of design parameters on thermoenergetic performance and propose solutions to achieve desirable levels of energy efficiency and thermal comfort of buildings. The Brazilian scientific literature registers a series of productions that contemplate several possibilities of using this tool. However, regarding the use of simulation specifically for educational purposes, there are still few materials available, especially when used for teaching beginners. It is necessary to offer theoretical and practical support to all those who wish to learn to simulate, especially to undergraduate and graduate students in the areas of Civil Engineering and Architecture and Urbanism, and to professionals who intend to use the tool in their projects. Therefore, this dissertation presents the steps that led to the development of a manual for teaching beginners in building performance simulation. Sample studies in Portuguese for the teaching of simulation were analyzed, focused on teaching new users, as well as national and international productions related to the teaching-learning processes. These references were then used in the design, didactics, organization and exposure of the guide's contents. To demonstrate the simulation in practice, the EnergyPlus™ program was chosen based on the following aspects: gratuity, wide scope, open code, freedom to analyze the output data, frequent software updates, audits and accreditations by organizations and laboratories recognized on a global scale, availability of reference documents on all input parameters of the program, and it used by users and researchers worldwide. The product resulting from this thesis, entitled “Manual de introdução à simulação do desempenho de edifícios – um curso para iniciantes no software EnergyPlus™”, was published and can be downloaded from the official website of Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES) at the Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). We hope, with this material, to attract new users of EnergyPlus™, encourage research in the area of building simulation and contribute to the academic and intellectual training of its readers.

Keywords: guide, didactic, building performance simulation, new users, EnergyPlus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Etapas do método para elaboração do manual.....	26
Figura 2: Síntese da finalidade de cada uma das fases de concepção do manual.....	31
Figura 3: Resumo dos parâmetros de entrada para simulação do desempenho de edifícios....	32
Figura 4: Processo de construção do conhecimento praticado em cada módulo do manual ...	34
Figura 5: Práticas realizadas nos roteiros do manual.....	40
Figura 6: Personagens desenhados para uso no manual	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resumo das publicações abarcadas neste estudo de revisão.....	18
Quadro 2: Conteúdos e objetivos de cada módulo do manual	35
Quadro 3: Resumo dos capítulos do manual	39
Quadro 4: Resumo das atividades para treinamento dos usuários desenvolvidas no manual..	43
Quadro 5: Resumo das técnicas de ensino-aprendizagem aplicadas no manual	45
Quadro 6: Resumo dos ícones utilizados no manual	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	<i>Revisão da literatura nacional de ensino de simulação do desempenho de edifícios.....</i>	<i>17</i>
2.1.1	Discussão.....	21
2.2	<i>Estratégias de ensino-aprendizagem.....</i>	<i>23</i>
3	O MÉTODO	26
3.1	<i>Preconcepção</i>	<i>27</i>
3.1.1	Definição de um público-alvo.....	27
3.1.2	Seleção de um programa computacional	28
3.2	<i>Esboço.....</i>	<i>32</i>
3.2.1	Estruturação do manual e organização dos conteúdos.....	33
3.2.2	Definição do conteúdo-programático	35
3.3	<i>Desenvolvimento</i>	<i>37</i>
3.3.1	Elementos pré-textuais	37
3.3.2	Elementos textuais	37
3.3.3	Elementos pós-textuais.....	43
3.3.4	Aplicação de estratégias de ensino-aprendizagem	44
3.3.5	Aplicação de outros recursos didáticos e ferramentas computacionais	46
3.4	<i>Publicação e divulgação</i>	<i>48</i>
4	PRODUTO RESULTANTE.....	50
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	365
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>366</i>

1 INTRODUÇÃO

O mundo moderno está cada vez mais conectado e consumindo mais tecnologias. O uso de ferramentas digitais é uma realidade (e muitas das vezes indispensáveis) em todos os setores da sociedade. Pressman e Maxin (2016) afirmam que, atualmente, nenhuma tecnologia supera o *software* de computador no cenário mundial. Este é o retrato da chamada era digital ou era da informação, a qual, inevitavelmente, resultou em significativas mudanças à produção e difusão do conhecimento científico (PACHECO; NASCIMENTO; WEBER, 2018).

Nesta era de súbitas transformações, requer-se dos nativos digitais¹ novas competências, aperfeiçoamento de suas habilidades e atualização tecnológica (PALFREY; GASSER, 2011). Nesse contexto, Ciência e Educação desempenham papel fundamental na formação dos futuros profissionais e do novo *modus* de trabalho. Em se tratando da Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e áreas afins, Jacoski e Schwartz (2005) e Carvalho e Savignon (2012) ponderam que o uso de ferramentas computacionais no ensino das disciplinas relativas aos referidos cursos é algo cada dia mais comum e indispensável tanto a estudantes quanto a professores.

No âmbito da física das construções, os mecanismos computacionais de simulação do desempenho de edifícios têm angariado destaque. Por sua versatilidade, multidisciplinaridade e capacidade de representação da complexidade do mundo real, Hensen e Lamberts (2011) entendem que as ferramentas de simulação computacional superam as abordagens tradicionais de projeto de engenharia e arquitetura.

Além de um recurso de projeto, a simulação do desempenho de edifícios é também uma disciplina de Engenharia e Arquitetura (BANKS; GIBSON, 1996). Faz-se necessário, portanto, o ensino da mesma e adaptação dos programas curriculares das universidades para atenderem à crescente demanda por sua aprendizagem (SANTOS et al., 2017).

Segall (2007), por sua vez, defende a importância da modelagem em arquitetura como um meio de expressão e representação de ideias na concepção do projeto. A modelagem para simulação do desempenho de edifícios propicia ao indivíduo a materialização de suas ideias. Seja profissional ou estudante, o simulador pode avaliar diferentes geometrias para o edifício,

¹ Os nativos digitais são aqueles nascidos após 1980, conforme classificam Palfrey e Gasser (2011).

escolher e trocar os materiais e componentes construtivos. Ademais, a simulação possibilita compreender as interações entre a edificação e o clima, os mecanismos de transferência de calor para o interior do edifício e os comportamentos humanos ao operar os sistemas prediais. O usuário pode, ainda, visualizar a influência dos parâmetros nas respostas termoenergéticas do edifício e propor soluções para a melhoria de seu desempenho. Enfim, as abstrações que o uso da ferramenta possibilita são diversas.

Em face do exposto, é preciso fornecer suporte àqueles que desejam aprender a simular, sejam estudantes dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil e Arquitetura, sejam profissionais que desejam integrar em seus projetos a ferramenta da simulação. Neste processo, os materiais didáticos cumprem um papel fundamental no ensino. Contudo, há uma certa carência² na literatura brasileira de publicações relacionadas ao ensino desta disciplina, em especial de materiais orientados a iniciantes em simulação computacional termoenergética.

Em partes, isso deve-se à novidade desta tecnologia no cenário nacional, vide a pioneira obra de Pedrini e Lamberts (1998). Ademais, ainda são poucas as instituições de ensino (e, em decorrência, poucos são os docentes e profissionais) que trabalham com simulação e ministram sobre a disciplina em sua grade curricular. Somado a ambos fatores, está o fato de que elaborar materiais didáticos relativos ao uso de ferramentas computacionais é uma tarefa complexa (VALENTE et al., 2000).

E, igualmente complexo é o processo de ensino-aprendizagem. No decorrer das décadas, diversos pesquisadores da Educação e áreas correlacionadas têm se debruçado no assunto em busca das melhores práticas de ensino, visando tanto a elaboração de materiais didáticos quanto a construção do conhecimento para os diversos tipos de público (MEKSENAS, 2001; VEIGA et al., 2008; URBAN, MAIA, SCHEIBEL, 2009; LIBÂNEO, 2017).

Do ponto de vista da significação de materiais didáticos, Meksenas (2001, p. 52) define-os como obras “com a finalidade específica de ser utilizada numa situação didática”. A didática, por sua vez, se definida com parcimônia, é a “arte de ensinar” (URBAN; MAIA; SCHEIBEL, 2009). Logo, se a proposta é desenvolver um material que visa o ensino de uma determinada

²Esta percepção advém da revisão de literatura apresentada no Capítulo 2.

disciplina, o caminho natural é recorrer às principais fontes que versam sobre os métodos de ensino-aprendizagem. Entretanto, muitas das abordagens usualmente discutidas na literatura pautam-se em modelos teóricos cujas metodologias³ ainda estão muito atreladas ao “campo das ideias” – ao que Carey (2014) classifica-as como “filosofia do ensino” – e esta é uma discussão que não vem de agora.

Feynman⁴ (2006) observou já nos anos 1950 que os métodos de ensino-aprendizagem praticados no Brasil levavam os alunos à perda da capacidade de reflexão. Roediger (2013) entende que a educação atualmente não adere ao modelo de prática baseada em evidências como ocorre na medicina.

Por outro lado, as “modernas” ciências da aprendizagem, cognitiva, psicopedagogia e neuropsicopedagogia têm-se mostrado uma alternativa às linhas filosóficas da educação. Tais ciências contam com embasamento científico robusto em suas propostas, fruto de décadas de pesquisas e testes que avaliam a eficácia dos métodos de ensino-aprendizagem (WEINSTEIN, MADAN, SUMERACKI, 2018). Apesar disso, permanecem desconhecidas do grande círculo educacional brasileiro.

Enquanto os estudos da filosofia do ensino estão comumente focados em repensar os modos de “como ensinar”, as ciências da aprendizagem partem de um pressuposto intrínseco e antecessor, que é “como aprendemos”. Ao vislumbrar entendê-lo, estreita-se o relacionamento com o aprendiz (educando), que é o principal agente e parte interessada do processo de ensino-aprendizagem. Para tanto, pesquisadores das áreas da psicologia e educação têm empreendido esforços conjuntos para identificar e compreender as principais variáveis atuantes nos processos de assimilação, construção e repasse do conhecimento (CAREY, 2014).

Diante disso, os métodos da ciência da aprendizagem mostraram-se mais adequados⁵ a serem implementados em um material didático para iniciantes em simulação, especialmente em

³ As metodologias de maior destaque na academia da Educação brasileira relacionam-se às linhas de pensamento: Montessoriana (COSTA, 2001), Waldorf (SENA, 2013), Construtivista de Piaget, Socioconstrutivista de Vygotsky e Freiriana (ou progressista libertária) de Paulo Freire (JÓFILI, 2002).

⁴ Proeminente físico e ganhador do prêmio Nobel de Física de 1965, Richard Philips Feynman (1918 – 1988) lecionou no Rio de Janeiro em 1950 para alunos dos cursos de Física e Engenharia. Os relatos de suas impressões sobre o ensino brasileiro estão relatados em seu livro “O senhor está brincando, Sr. Feynman!”. Ao físico, também é creditada a “Técnica Feynman”, um método reconhecidamente eficaz no processo de aprendizagem.

⁵ Esta é uma percepção que não visa, de modo algum, detrair as linhas de pensamento filosóficas da educação.

um contexto de autoestudo⁶, situação a qual os usuários do guia certamente vivenciarão durante o processo de aprendizagem.

Frente ao exposto, esta dissertação objetiva desenvolver um manual para iniciantes em simulação computacional do desempenho de edifícios.

Além disso, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Contribuir com a formação intelectual dos leitores, despertando-lhes o interesse em aprofundar-se em simulação computacional do desempenho de edificações e/ou nas estratégias das ciências da aprendizagem;
- Estimular o surgimento de novos usuários e de pesquisadores na área de simulação computacional termoenergética.

Nesta dissertação, portanto, serão apresentados os passos que conduziram à concepção do manual proposto, envolvendo desde a revisão da literatura relativa ao (i) ensino da simulação e (ii) às técnicas das ciências da aprendizagem, até a metodologia utilizada no desenvolvimento deste material. O produto resultante desta pesquisa, por sua vez, é apresentado no capítulo de “Resultados”.

⁶ O objetivo de um material didático é fazer com que o usuário entenda o conteúdo que lhe está sendo passado, pois, conforme escreve Piazzini (2008, p. 64): “(...) ninguém aprende coisa alguma se não for autodidata, ou seja, professor de si mesmo”.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Ao desenvolver um material de ensino, é normal surgirem questionamentos como: “qual estrutura adotar?”, “quais conteúdos abordar e como abordá-los de maneira didática?”, “o que é essencial que os iniciantes saibam?”, “até onde vai o nível básico?”, “qual será o formato do manual: digital ou impresso?”, “onde publicá-lo?”, e, ainda, pormenores, como: “qual a arte da capa?”, “qual o tamanho e tipo de fonte utilizar no corpo do texto”.

Para responder a estas questões, é fundamental investigar tanto a literatura que trabalha o assunto em específico, quanto a literatura relativa aos métodos de ensino-aprendizagem que possam ser aplicados em materiais de apoio a fim de torná-los didáticos.

Em um primeiro momento, portanto, é preciso conhecer o estado da arte das publicações destinadas ao ensino de simulação do desempenho de edifícios, possibilitando ao autor inteirar-se do conhecimento sedimentado, bem como selecionar os estudos que poderão contribuir tanto para composição do manual (referências bibliográficas) quanto para elaboração do guia em seus mais diversos aspectos (teor e nível de profundidade dos conteúdos).

Além disso, a revisão viabiliza identificar os pontos fortes de cada trabalho, bem como detectar aspectos passíveis de serem aprimorados. Outrossim, permite encontrar publicações, sites e ferramentas disponibilizadas gratuitamente na internet, a fim de evitar replicar no manual informações documentadas e de domínio público que poderiam ser facilmente acessadas pelo usuário com uma simples recomendação de leitura.

Em um segundo momento, é preciso investigar a literatura que servirá de base para a construção “didática” do manual que, conforme explicado no capítulo anterior, centrar-se-á nas ciências da aprendizagem e educação. Esta etapa possibilita identificar as publicações relativas ao tema e compilar as técnicas potencialmente aplicáveis ao manual.

Diante disso, este capítulo foi dividido em duas seções. A primeira refere-se à revisão da literatura relacionada ao ensino de simulação do desempenho de edifícios. Como o manual destinar-se-á a usuários brasileiros, restringiu-se a pesquisa ao âmbito nacional. Em seguida, é apresentada a revisão da literatura concernente aos métodos de ensino-aprendizagem praticados pelas ciências da aprendizagem. Além disso, são apresentadas algumas discussões sobre pontos importantes destas análises.

2.1 Revisão da literatura nacional de ensino de simulação do desempenho de edifícios

O panorama nacional de publicações destinadas ao ensino de simulação do desempenho de edificações remonta ao final da década de 90, com boa parte do trabalho pioneiro baseado em cursos para treinamento de iniciantes.

A princípio, as demonstrações eram realizadas no programa computacional VisualDOE, mas a partir de 2006 começam a surgir guias práticos no EnergyPlus™. Mais recentemente, em 2010, encontram-se tutoriais sobre a modelagem dos aspectos geométricos de edificações no programa OpenStudio®.

No que tange ao ensino de temas específicos, é possível encontrar manuais elaborados para usuários de nível mais avançado em simulação computacional do desempenho de edifícios a partir de 2008. De início, tais produções focavam na configuração dos objetos necessários para simulação de edificações naturalmente ventiladas ou em contato com o solo no software EnergyPlus™. Desde então, esses estudos têm sido atualizados e, atualmente, há tutoriais de modelagem de sistemas de climatização híbrido no referido programa.

A literatura registra ainda relatórios relacionados ao desenvolvimento de bibliotecas de materiais e componentes construtivos adequados à realidade brasileira para uso em programas computacionais de simulação. Apesar de não serem próprios para instrução dos aprendizes em simulação, estes estudos auxiliam muito na compreensão dos métodos de cálculo considerados pelos programas computacionais para modelagem dos materiais e componentes construtivos e inserção dos parâmetros de entrada correspondente às propriedades termofísicas dos mesmos.

O Quadro 1 apresenta a relação completa das publicações analisadas por esta revisão de literatura, o teor de seu conteúdo, o público-alvo a que se destinam e o programa computacional considerado no estudo. Na sequência, discorre-se sucintamente sobre cada um destes trabalhos e, ao final desta seção, são feitos alguns apontamentos sobre a didática destes manuais.

Quadro 1. Resumo das publicações abarcadas neste estudo de revisão

Ano	Autor(es)*	Público	Teor do conteúdo	Programa
1998	Pedrini e Lamberts	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	VisualDOE
1999	Pedrini, Lamberts e Westphal	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	VisualDOE
2003	Ordenes et al.	Geral	Biblioteca de materiais e componentes construtivos	VisualDOE
	Pedrini e Lamberts	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	VisualDOE
2006	Westphal e Lamberts	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	EnergyPlus
2008	Melo et al.	Avançado	Simulação de edificações naturalmente ventiladas	EnergyPlus
2009	Melo, Westphal e Matos	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	EnergyPlus
2010	Versage e Lamberts	Iniciantes	Curso básico para treinamento de simulação	OpenStudio
2013	Pereira et al.	Avançado	Simulação de edificações naturalmente ventiladas	EnergyPlus
	Mazzaferro et al.	Avançado	Simulação de edificações em contato com o solo	EnergyPlus
2015	Mazzaferro, Melo e Lamberts	Avançado	Simulação de edificações em contato com o solo	EnergyPlus
2017	Weber et al.	Geral	Biblioteca de materiais e componentes construtivos	EnergyPlus
	Veiga et al.	Avançado	Simulação de edificações naturalmente ventiladas	EnergyPlus
2019	Eli et al.	Avançado	Simulação de edificações em contato com o solo	EnergyPlus
	Veiga et al.	Avançado	Simulação de sistemas de climatização híbrido	EnergyPlus

* Todas as publicações remetem a uma mesma base de dados (LabEEE/UFSC), disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/>>

Fonte: Autor (2020)

Pedrini e Lamberts (1998) detêm a autoria do primeiro manual brasileiro voltado ao ensino da simulação computacional termoenergética, intitulado “Introdução ao VisualDOE-2”. O guia organiza informações essenciais para uso do referido programa computacional na versão 2.61. No ano seguinte, Pedrini, Lamberts e Westphal (1999) publicaram o “Treinamento para o Programa VisualDOE-2, v. 2.61”, dando continuidade à série de estudos direcionados àqueles que desejavam familiarizar-se aos procedimentos básicos para simulação no software.

Posteriormente, Ordenes et al. (2003) descreveram em seu relatório a caracterização de materiais e componentes construtivos adaptados à realidade brasileira para uso no VisualDOE-3. Os autores relatam os modos para utilização da então criada biblioteca, a fim de auxiliar os usuários a melhor compreender os dados de entrada da simulação. No mesmo ano, Pedrini e Lamberts (2003) desenvolveram um treinamento no programa, em sua versão. 3.1.180. Baseado na experiência do Laboratório em Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) com treinamento de iniciantes, este trabalho apresenta demonstrações aos usuários que desejavam aprender procedimentos básicos de modelagem e simulação do desempenho de edificações,

Em seguida, Westphal e Lamberts (2006) publicaram o curso de introdução ao EnergyPlus™. A apostila conta com uma série de exercícios didáticos, desenvolvidos com o objetivo de facilitar o início do aprendizado sobre o programa. Esse material pode ser considerado como um ponto de partida para a exploração do EnergyPlus™ no âmbito nacional. Ademais, os autores recomendam que, para um bom aproveitamento do guia, o auxílio de um instrutor capacitado com experiência em simulação é indispensável no treinamento das habilidades do estudante.

Desde então, o EnergyPlus™ passou a ser o foco dos materiais de simulação. Melo et al. (2008) desenvolveram o primeiro manual de simulação computacional de edificações naturalmente ventiladas no software, detalhando aos interessados cada um dos objetos do Airflow Network. No ano seguinte, a “Apostila do Curso Básico do EnergyPlus™”, apresentou um “passo a passo” para modelagem e simulação de uma edificação simplificada. Neste material é possível encontrar uma série de seis exercícios que envolvem desde a modelagem da geometria, aberturas, zonas térmicas, materiais de construção, cargas internas e operação, inserção de arquivos climáticos, adição de um sistema de condicionamento de ar e análises do consumo de energia elétrica do edifício (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009).

Na virada da década, Versage e Lamberts (2010) lançaram o primeiro (e único) tutorial no OpenStudio®, versão 1.0 (plug-in do EnergyPlus™ para o SketchUp). Este guia contempla a modelagem tridimensional a partir da criação de uma zona térmica, adição das respectivas subsuperfícies, inserção de um grupo de sombreamento, definição dos padrões de construção, combinação das superfícies correspondentes, especificação das cargas térmicas de ganhos de calor interno e configuração do arquivo para simulação no programa EnergyPlus™. Versage e Lamberts (2010) também exibem um estudo de caso para duas salas de escritório no município de Florianópolis, Santa Catarina, no qual foi testado o desempenho térmico de alguns modelos de cobertura, do conjunto de sombreamento e o impacto do acréscimo de mais dois pavimentos na refrigeração de cada sala.

Mazzaferro et al. (2013) desenvolveram um manual de simulação termoenergética de edificações com uso do pré-processador Slab EnergyPlus™. O material foi elaborado com o objetivo de auxiliar os usuários do programa a inserir os inputs necessários para simular edificações em contato com o solo e verificar a influência desta interação na temperatura interna dos ambientes. Para tanto, os autores descrevem o processo para utilização do objeto Detailed Ground Heat Transfer a partir do Slab, um pré-processador interativo que simula o “impacto”

das trocas de calor entre o solo e o edifício. No mesmo ano, Pereira et al. (2013) elaboraram uma versão atualizada e mais completa do “Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa EnergyPlus™ – Versão 8”.

O trabalho de Pereira et al. (2013) visava auxiliar os usuários do EnergyPlus™, v. 8.0, a inserir os parâmetros de entrada necessários para simular edificações naturalmente ventiladas no programa. O manual é claro e objetivo em descrever cada input para utilização dos objetos do grupo Airflow Network (modelo de cálculo do fluxo de ar pelo interior das edificações). Isso o torna bastante útil aos usuários mais familiarizados com o software e que desejam melhor compreender as estratégias de ventilação natural, os conceitos envolvidos, a ordem de grandeza dos coeficientes e expoentes para o fluxo de ar em diferentes elementos construtivos (portas, janelas etc.) enquanto fechados. O guia também conta com um exemplo prático para simulação de uma habitação de interesse social naturalmente ventilada e interpretação dos resultados.

À sequência, verificou-se a existência de mais um manual de simulação de edificações em contato com o solo, obra de autoria de Mazzaferro, Melo e Lamberts (2015). Enquanto que o precursor guia de Mazzaferro et al. (2013) englobava a utilização do objeto Detailed Ground Heat Transfer a partir do pré-processador Slab, o novo guia centrava-se na utilização do objeto de entrada Ground Domain para simulações de transferência de calor em superfícies horizontais em contato com o solo no programa EnergyPlus™. Em Mazzaferro, Melo e Lamberts (2015) é possível encontrar a descrição dos inputs úteis ao processo e um exemplo de uma edificação unifamiliar para simulação com uso do Ground Domain, bem como análises e considerações finais acerca dos resultados obtidos.

Dois anos depois, Weber et al. (2017) construíram uma metodologia para caracterização de componentes construtivos adequados à realidade brasileira para uso no EnergyPlus™. O objetivo do estudo era facilitar a compreensão das características dos componentes construtivos inseridas no programa, no intuito de reduzir a ocorrência de erros durante a modelagem para análise de energia das edificações. O relatório de Weber et al. (2017) representou tanto um complemento à obra de Ordenes et al. (2003) quanto uma atualização da mesma.

Em 2019, o LabEEE disponibilizou em sua biblioteca digital três manuais de simulação no EnergyPlus™, dos quais dois são atualizações dos guias de simulação de edificações em contato com o solo utilizando o objeto Ground Domain, cuja autoria remete agora a Eli et al. (2019), e de edificações naturalmente ventiladas, desenvolvido por Veiga et al. (2019a). Ambos

foram apresentados nos mesmos moldes de seus precursores aplicáveis à versão mais recente do EnergyPlus™ disponível na época. Já o terceiro estudo, de Veiga et al. (2019b), consiste em um tutorial de configuração dos objetos do grupo Energy Management System (EMS) na versão 9.1 do EnergyPlus™.

Fechando a série de estudos analisados nesta revisão, a obra de Veiga et al. (2019b) foi o manual de nível mais avançado identificado até então, visto que a modelagem e simulação de sistemas de climatização híbrido no EnergyPlus™ requer uma ampla gama de conhecimentos próprios de simuladores mais experientes. Tais saberes relacionam-se à capacidade de modelar desde a geometria e os componentes construtivos da edificação, as cargas internas, os sistemas de ventilação natural (Airflow Network) e de condicionamento do ar (HVAC Template), até as rotinas de ocupação e os modos de uso e operação desses sistemas.

O manual descreve cada parâmetro de entrada necessário para utilização das estratégias de condicionamento artificial e ventilação natural. Segundo Veiga et al. (2019b), as interações entre os usuários e os sistemas de ventilação e condicionamento do ar são realizadas por meio do grupo de objetos Energy Management System (EMS) que, por sua vez, lê variados dados de saída (como temperatura operativa e ocupação das zonas térmicas) e ordena a alteração das rotinas (schedules) de comportamento dos usuários por meio de códigos de programação em linguagem ERL⁷. Para realizar as demonstrações, os autores valeram-se de um exemplo em que o EMS foi utilizado para a construção e acionamento dos sistemas de climatização híbrido.

2.1.1 Discussão

Da revisão aventada, constatou-se que apenas seis dos quinze manuais analisados eram destinados ao treinamento de iniciantes, enquanto que os demais remetiam a temáticas de nível mais avançado. No geral, os guias apresentavam tutoriais de inserção dos parâmetros de entrada em um programa computacional para simulação de uma superfície, zona térmica ou de uma edificação simplificada.

Para exibição dos conteúdos, os autores buscaram apresentar as informações essenciais em texto combinado ao uso de recursos visuais, tais como figuras, gráficos, tabelas e quadros.

⁷ ERL (*EnergyPlus Runtime Language*) é a linguagem nativa do EnergyPlus™.

Para demonstração dos procedimentos, foram explorados exemplos simples, além de que, em alguns casos, eram propostos exercícios de fixação ao final do tutorial.

Quanto aos conteúdos abarcados, os manuais orientavam os usuários à modelagem dos aspectos geométricos da envoltória, definição das zonas térmicas e caracterização das aberturas e dos elementos construtivos; modelagem dos materiais e componentes construtivos e definição de suas propriedades termofísicas; modelagem dos sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), das rotinas de ocupação e dos modos de uso e operação do edifício, de seus sistemas e dos equipamentos eletroeletrônicos. Os dados de saída, por sua vez, relacionavam-se às cargas térmicas de condicionamento/aquecimento, temperaturas operativas dos ambientes internos e ao consumo de energia do edifício com os sistemas de climatização artificial.

Embora o número absoluto de manuais no cenário nacional seja relativamente baixo, é cognoscível a preocupação dos autores com o ensino de iniciantes e com a formação de futuros simuladores. Os materiais analisados possuem estrutura bem definida, são claros, elucidativos, pragmáticos e intentam, a seu modo, conciliar a teoria à prática. Na maioria das vezes, os guias focaram em um único tema específico, como descrever todos os parâmetros de entrada de um determinado grupo de objetos para simulação no EnergyPlus™.

O exposto vai de encontro com o que acredita Gil (2002). Para o autor, um manual deve ser prático, claro, descritivo e conciso quanto à essência dos assuntos abordados, sem, contudo, transformar-se em um receituário. De outra feita, salienta-se que trabalhos apresentados nesse perfil podem acabar passando ao usuário uma impressão demasiadamente mecânica nos modos de orientação à manipulação das ferramentas computacionais. Somada a essa percepção, quanto maior e mais complexo é o conteúdo abordado, menor a possibilidade de torná-lo redutível.

Gil (2002) também entende que os manuais são considerados obras de referência em um assunto específico, especialmente quando relacionados às áreas de ciência e tecnologia. Neste caso, além da prática, é considerável a importância da fundamentação teórica. Pouca ênfase na teoria básica de um assunto e negligência dos conceitos essenciais pode resultar em prejuízos à aprendizagem dos indivíduos, sobretudo quando iniciantes.

Por fim, cabe ressaltar que – embora ótimas fontes de referência – os manuais poderiam ser mais didáticos e “atrativos” aos usuários se explorassem (voluntariamente) mais das técnicas das ciências da aprendizagem e educação, tema este que será melhor discutido a seguir.

2.2 Estratégias de ensino-aprendizagem

A princípio, convém desambiguar os termos “entender” de “aprender”. O primeiro está relacionado à compreensão, ou seja, ao processamento e assimilação da informação que é passada ao indivíduo (ouvinte ou leitor) (MICHAELIS, 2015). Como ocorre de forma passiva, as informações compreendidas ficam armazenadas na memória de curto prazo (de trabalho ou operacional). Normalmente, os seres humanos possuem a capacidade de reter uma pequena quantidade de informações em curtos períodos de tempo. Boa parte das informações rotineiras compreendidas são descartadas pelo cérebro em poucas horas, isto é, esquecidas, como forma de “liberar espaço” na memória para as próximas informações (CAREY, 2014).

Aprender, em contrapartida, é um processo ativo que sucede o entender (ora, ninguém aprende nada sem antes haver compreendido). Logo, uma informação só é transformada em conhecimento se as redes neurais do córtex forem reconfiguradas, passando agora a ficar retida na memória de longo prazo. A aquisição de um conhecimento ou domínio de uma habilidade, portanto, requer esforço, interesse e prática (repetição) (PIAZZI, 2008).

O processo de aprendizagem possui também algumas características. Segundo Campos (2014) e Piovesan et al. (2018), aprender é um processo dinâmico (pois envolve a participação ativa do indivíduo); contínuo (ocorre do nascimento ao final da vida humana); global (envolve todos os aspectos constitutivos da personalidade do ser no ato de aprender); gradativo (uma nova aprendizagem agrega elementos às anteriores); cumulativo (as aprendizagens somam-se às outras) e pessoal (porque é individual e intransferível).

Ora, se aprender é algo intrínseco ao indivíduo, o máximo que um tutor ou um material didático poderão atingir é fazer com que o estudante entenda o conteúdo que lhe é passado. Há, porém, técnicas de ensino que, se aproveitadas, podem maximizar a compreensão do educando e potencializar o avanço para o estágio da aprendizagem. Estas práticas, no entanto, ainda são pouco conhecidas das teorias educativas vigentes, conforme afirma Nóvoa (2009, p. 13). E quais seriam estas técnicas?

Weinstein, Madan e Sumeracki (2018) categorizam em seis as estratégias das ciências da aprendizagem: prática espaçada, intercalação, lembrança, elaboração, exemplos concretos e codificação dupla.

A prática espaçada está associada à repetição de uma mesma informação em intervalos determinados de tempo. O efeito produzido pela repetição distribuída, segundo Carey (2014), leva a uma maior retenção do conteúdo estudado a longo prazo do que se o aluno o visse em uma única sessão de estudos.

Já a técnica intercalação ou entremeio ocorre quando problemas ou conteúdos diferentes são abordados em uma sequência, em detrimento do método “tradicional” de apresentar várias versões de um mesmo problema em uma única sessão de estudos (WEINSTEIN; MADAN; SUMERACKI, 2018).

Outro tipo de intercalação aplicado à resolução de problemas envolve as oportunidades de estudo (observação) e teste. Nesta prática, o estudante alterna entre um exemplo resolvido e a tentativa de solução de um problema (TRAFTON; REISER, 1993). Considerando o tempo demandado até que o aluno atinja pleno domínio do conteúdo, Corbett et al. (2010) verificaram que essa técnica parece ser superior a usual de responder uma série de problemas em sequência.

Os benefícios de exemplos e teste (ao invés da solução de problemas em blocos) podem surgir devido ao processo de aprendizagem potencializada por testes, isto é, uma oportunidade de estudo efetuada imediatamente a uma tentativa de recuperação de conteúdos recentemente trabalhados. De acordo com Arnold e McDermott (2013), essa prática pode ser mais frutífera do que quando o mesmo estudo não precede qualquer intento de recuperação.

Ademais, a realização de exercícios/testes⁸ também ajudam a memorizar a informação estudada. Calcado neste ponto, a estratégia da lembrança parte do princípio que a recuperação de um conhecimento fortalece-o na memória. Em suma, a ideia desta abordagem é resgatar algo aprendido da memória de longo prazo e “trazê-lo” à memória de trabalho (curto prazo), a fim de consolidar esse conhecimento.

Segundo Weinstein, Madan e Sumeracki (2018), as práticas de lembrar promovem um melhor desempenho de memorização quando comparadas a grupos controle que não fizeram uso da prática de lembrar. Fiechter e Benjamin (2017) mostraram que essa abordagem pode ser

⁸ É importante frisar a visão de Bazzo, Pereira e Linsingen (2008) de que os testes são uma ferramenta no processo de ensino-aprendizagem, e não um obstáculo ou o objetivo maior do mesmo (prática esta que pode acabar produzindo efeitos “nocivos” à aprendizagem devido à pressão gerada durante a realização de provas ou pelas expectativas / desilusões do estudante por um “bom” desempenho).

ainda mais benéfica para a aprendizagem de assuntos complexos (de ordem superior) se incluir uma base mais rica de conhecimentos.

Outra técnica é a elaboração. Este mecanismo envolve a conexão da nova informação com conhecimentos preexistentes, o que pode ser feito tanto de forma escrita quanto por meio da ligação dos fenômenos estudados com perguntas e imagens. Logo, a organização do material é fundamental para que as novas informações integrem-se aos conceitos já ensinados, a fim de facilitar a reconstrução do passado no momento da lembrança (BELLEZZA; CHEESMAN; REDDY, 1977). Na visão de Anderson (1983), a elaboração consiste em uma das mais potentes manipulações que podem ser realizadas em termos de aumento da memória de um sujeito sobre um material.

Também há evidências de que fornecer informações de apoio melhoram o aprendizado de ideias-chave e conceitos. Especificamente, o uso de exemplos concretos para complementar o conteúdo teórico tornam as ideias mais fáceis de serem compreendidas e lembradas. Além de transmitir informações, os exemplos palpáveis podem explorar imagens para expressar aquilo que, muitas das vezes, demandaria muito esforço do instrutor para ensinar e do indivíduo para compreender se feito apenas com uso de muitos parágrafos de textos (BARKER, MANJI, 1989; MAYER, GALLINI, 1990).

"Uma imagem vale mais que mil palavras". Embora dito popular, é bem conhecido que ilustrações podem ser particularmente úteis quando o conceito descrito envolve várias partes ou etapas (fluxos) e destina-se a pessoas iniciantes no assunto (EITEL; SCHEITER, 2015). Esta é a chamada codificação dupla, estratégia baseada na noção de que um texto acompanhado de uma imagem favorece o processo de aprendizagem por explorar mais regiões do cérebro (do que apenas leitura) e evocar informações relacionadas ao que está sendo visualizado.

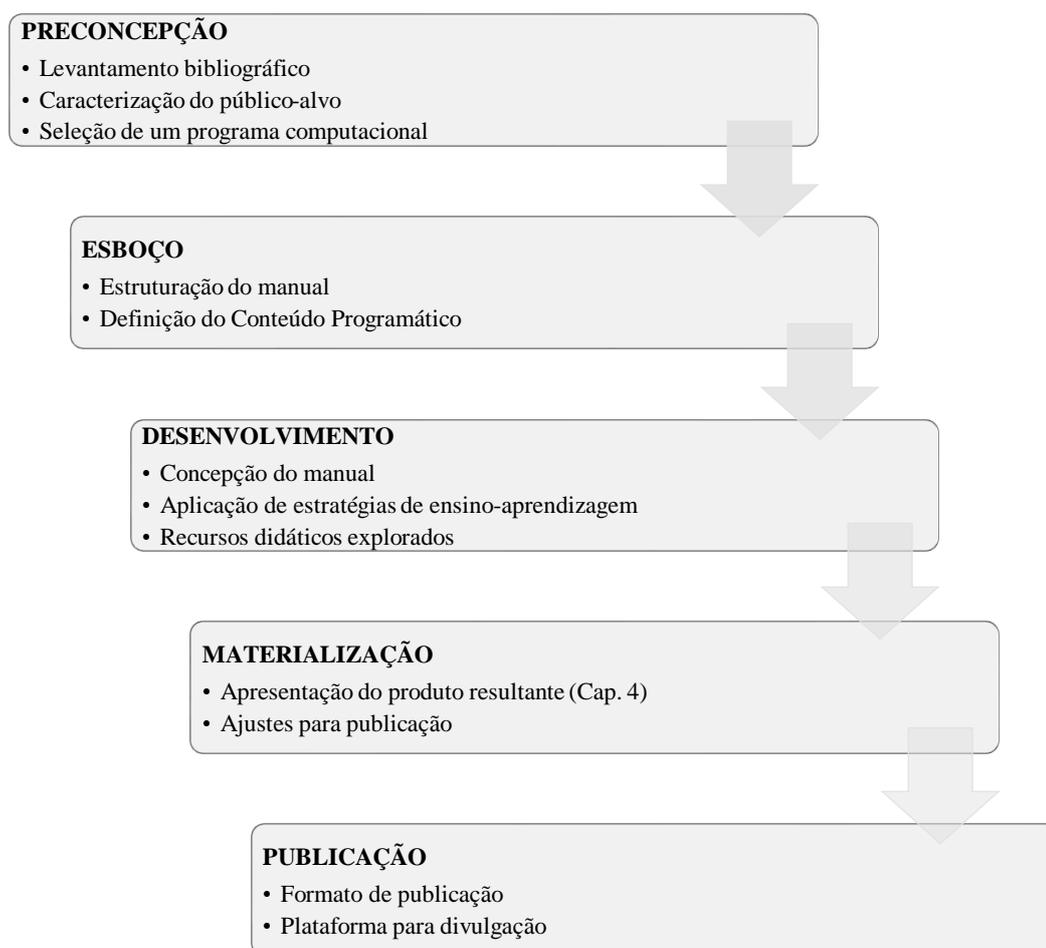
Enfim, as técnicas de aprendizagem são valiosas em prol da didática de um material de ensino. A seguir, serão apresentados os modos como estas e outras estratégias foram aplicadas na concepção do manual, bem como as demais etapas que conduziram à elaboração do guia.

3 O MÉTODO

A metodologia para desenvolvimento de materiais de ensino difere-se do convencional baseado em evidências e experimentação comumente praticado nas “Ciências Exatas”. Por sua natureza subjetiva, é baseado em escolhas, por exemplo: qual será o nível de detalhamento do material, a quem se destinará, quais matérias serão ensinadas, como será publicado etc. Para fundamentá-las, é preciso recorrer tanto a autores da disciplina em si quanto de outras áreas, a fim de formar uma base de dados para referências e recomendações de leitura, extrair ideias, conhecer estruturas, conteúdos, técnicas de ensino-aprendizagem.

Esta análise documental está associada à preconcepção do manual, sendo, portanto, uma das partes do método considerado neste estudo e resumido na Figura 1.

Figura 1: Etapas do método para elaboração do manual



Com base no exposto, este capítulo discorrerá sobre cada uma das fases da metodologia utilizada para construção do manual proposto nesta dissertação, a começar pelos demais pontos da etapa de “preconcepção”.

3.1 Preconcepção

Tão importante quanto responder “como elaborar um material didático” é saber “a quem se destina”. Somente com o público bem definido é possível selecionar os assuntos que serão ministrados no manual e as habilidades que seus leitores poderão desenvolver com base em seu conteúdo. No caso da simulação do desempenho de edificações, é preciso também eleger um programa computacional para treinamento dos usuários, exemplificação dos procedimentos na prática e realização dos exercícios de fixação. Estas duas fases são abordadas a seguir.

3.1.1 Definição de um público-alvo

Da pesquisa bibliográfica aos manuais, guias e tutoriais brasileiros orientados ao ensino da simulação do desempenho de edifícios, constatou-se que:

- Embora valiosas e confiáveis, ainda são poucos (em números absolutos) os trabalhos disponíveis na literatura nacional orientados ao ensino de “iniciantes” em simulação computacional termoenergética;
- E, dentre os manuais disponíveis, não há registros na literatura de um material cujo conteúdo contemple a teoria e a prática fundamental da simulação do desempenho de edifícios (o que é considerado “fundamental” será discutido a posteriori), estando estas publicações restritas a aspectos mais específicos da disciplina (por exemplo, a configuração dos parâmetros de entrada de um determinado grupo de objetos).

Diante disso, identificou-se a necessidade da criação de um material específico para este público compreendido pelos “iniciantes” em simulação do desempenho de edifícios, em outras palavras, indivíduos que nunca tiveram ou pouco tiveram contato com a ferramenta e que têm o interesse de aprender a simular.

Em sentido restrito, os iniciantes podem ser usuários provenientes dos seguintes grupos:

- Acadêmicos em nível de graduação dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e áreas afins;
- Acadêmicos de pós-graduação, em nível de especialização, mestrado ou doutorado, em cursos de Engenharias e Arquitetura cuja área de concentração esteja relacionada à eficiência energética e sustentabilidade do ambiente construído;
- Profissionais, especialmente engenheiros e arquitetos, que desejam integrar em seus projetos a variável de simulação computacional do desempenho de edificações, ou, ainda, que prestam serviços (tais como consultorias e assessorias) para avaliação do nível de eficiência energética de edifícios alvo de certificação;
- Professores que ministram a disciplina em instituições de ensino pública ou privada, ou que têm a pretensão de ofertar cursos⁹ de simulação do desempenho de edifícios;
- Usuários independentes que utilizam outro(s) programa(s) de simulação e querem aprender a simular também no EnergyPlus™;
- Pesquisadores que não possuem interesse em todo o conteúdo, mas necessitam de informações pontuais para aproveitamento em suas pesquisas;
- Outros tipos de públicos não contemplados pelos tópicos anteriores que queiram conhecer ou estudar (no todo ou em partes) os conteúdos disponibilizados.

3.1.2 Seleção de um programa computacional

Os ditos programas computacionais de simulação do desempenho térmico e energético de edifícios são aqueles que integram diferentes modelos físicos para processar a interação entre os sistemas da edificação. Esses modelos podem ser programados de diferentes modos e, como resultado, cada software terá seu próprio modo de “interpretar” os dados que lhe são fornecidos.

Nos últimos anos, diversos programas computacionais vem sendo desenvolvidos para simular o desempenho das edificações, com destaque para os exemplares: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECH, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, Green Building Studio, IDA ICE, HAP, HEED, OpenStudio, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE e TRNSYS (CRAWLEY et al., 2008; CAVALCANTE, 2010; DOE, 2020).

⁹ Os direitos autorais proíbem a comercialização do manual ou de partes do seu conteúdo. Os dados de Copyright© são apresentados na terceira página do manual.

Tais mecanismos são construídos com base em diversas suposições que buscam explicar como o edifício comporta-se frente às diversas variáveis que influenciam em seu desempenho térmico e energético. Tendo em vista que para representar esse comportamento são utilizados modelos matemáticos e computacionais baseados em raciocínio lógico, torna-se impossível apontar (objetivamente) determinado programa como “o melhor” em detrimento dos demais. Logo, todos os softwares citados são opções adequadas para simular o desempenho de edifícios.

Após realizar uma análise comparativa entre os vinte principais programas de simulação computacional termoenergética, Crawley et al. (2005) chegaram à conclusão de que optar pelo uso de uma única ferramenta, quando possível, é muito mais proveitoso do que a utilização de várias. Em face do exposto, o software EnergyPlus™ foi escolhido como o mecanismo central para o desenvolvimento das atividades práticas e treinamento dos usuários.

A escolha deste programa computacional sustentou-se nos seguintes critérios (DOE, 2020a; ENERGYPLUS™, 2020):

- O EnergyPlus™ é um programa que pode ser instalado e utilizado gratuitamente;
- É compatível com os três principais sistemas operacionais: Windows, Mac e Linux;
- Possui estrutura modular e código aberto, distanciando-o do formato “caixa preta”. O algoritmo de domínio público e a estrutura modular permitem o desenvolvimento de cada módulo por pesquisadores e usuários independentes sem que estes detenham o domínio da ferramenta como um todo;
- Une pesquisadores de todo o mundo e de diversas áreas do conhecimento, tornando-o um software abrangente e inteligível aos usuários, além de que conta com a própria retroalimentação das partes envolvidas em seu aperfeiçoamento;
- Apresenta modelagem e simulação acoplados, possibilitando ao projetista melhor conhecer as respostas térmicas do edifício.
- No EnergyPlus™, as três principais partes da simulação (edifício, sistema e planta) são solucionadas simultaneamente. Ademais, o programa é capaz de simular as mais variadas tipologias arquitetônicas, componentes construtivos e sistemas AVAC;
- O software é frequentemente atualizado (periodicidade média de seis meses);
- Tem sua eficácia atestada por organizações, agências e laboratórios de relevância internacional e, a cada nova versão, é novamente submetido a testes para avaliação de sua capacidade;

- Confere total liberdade ao usuário para manipular os dados de entrada e de saída de seu interesse.

Este último tópico foi um dos principais fatores levados em consideração na escolha do EnergyPlus™ para o ensino de iniciantes. Isso porque lidar com simulação do desempenho de uma edificação (ou de uma zona térmica ou um componente construtivo) envolve um grande conjunto de dados (tanto variáveis de entrada quanto de saída).

No caso do EnergyPlus™, o simulador deve inserir um a um os parâmetros necessários para “alimentar” o software (modelagem passo a passo), cabendo a ele, portanto, definir o nível de detalhamento do modelo que pretende simular e quais dados serão solicitados ao programa retornar após a simulação. Para tanto, é preciso “conhecer” o dado que está inserindo: o que é e para que serve, onde e como configurá-lo, qual a unidade de medida, o que é possível calcular a partir do mesmo, qual sua ordem de grandeza a depender do caso.

Além disso, o usuário também possui a incumbência de analisar os resultados (por meio de tabelas, gráficos, indicadores específicos etc.); interpretá-los (por exemplo, verificar se os resultados mostraram-se condizentes com as ordens de grandeza encontradas na realidade, qual foi o “efeito” de cada variável no desempenho expresso pelo modelo); extrair conclusões (“o nível de eficiência energética do modelo é ...”, a opção “a” é mais vantajosa do que a “b” para reduzir em “x” °C o total de graus-hora de resfriamento) e tomar decisões (por exemplo, apontar uma solução de projeto em meio às possíveis, redefinir ou testar novos parâmetros no modelo e verificar seu impacto nos resultados).

Deste modo, ao utilizar o EnergyPlus™, o usuário “interage” com os todos os aspectos da simulação computacional termoenergética. A autonomia conferida pelo programa tornou-lhe uma ferramenta apreciada no mundo inteiro para uso em pesquisas científicas, o que é algo muito relevante do ponto de vista da educação e da ciência e, conseqüentemente, de um material didático que se propõe ao ensino de indivíduos que, futuramente, possam estar publicando suas pesquisas ou lecionando na área de simulação do desempenho de edifícios.

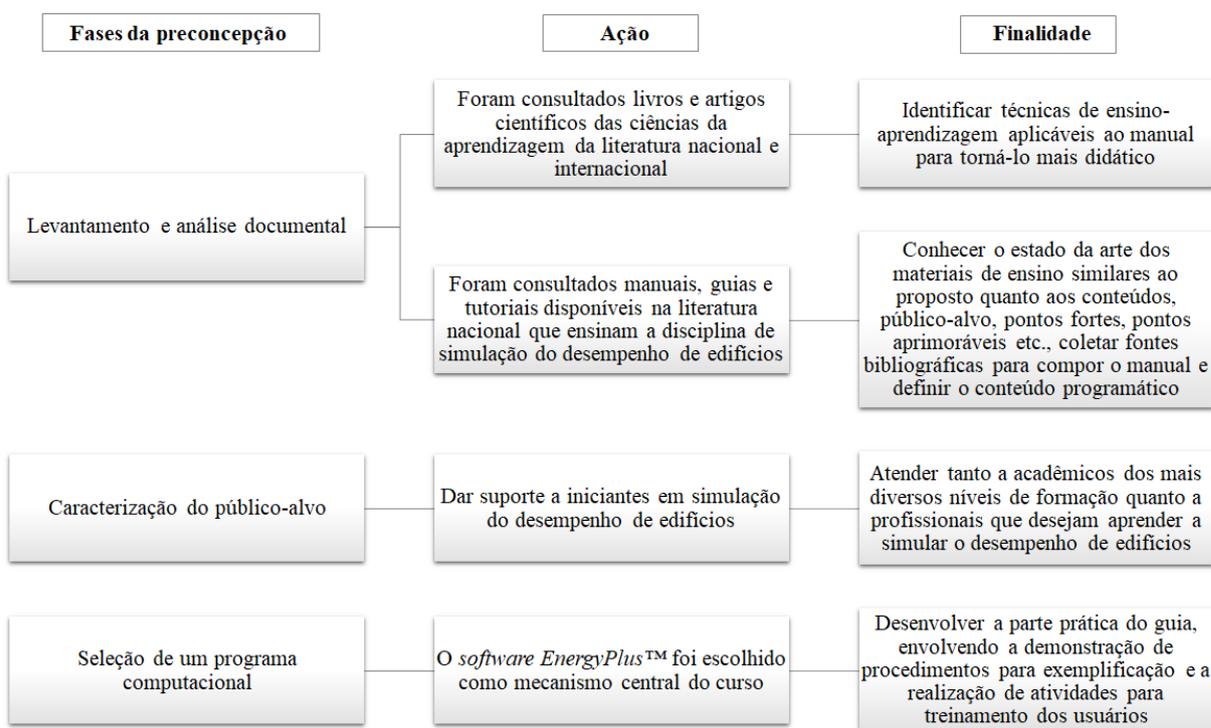
Os documentos de referência do EnergyPlus™ constituem outro exemplo dos benefícios carreados pelo software que apoiaram sua escolha. Os manuais do programa, com destaque para o “Getting Started” (DOE, 2020a), “Input Output Reference” (DOE, 2020b) e o “Engineering Reference” (DOE, 2020c), contemplam desde os modos de como o EnergyPlus™ “funciona”

até a descrição de todos os parâmetros de entrada existentes no programa, incluindo, em alguns casos, valores de referência.

Logo, além de ótimas fontes para consulta, tais guias são muito adequados para o uso em um manual em que o EnergyPlus™ é utilizado como ferramenta de ensino. Cabe pontuar, contudo, que os manuais do DOE são bastante extensos e densos (vide o nível de detalhamento e a grande quantidade de parâmetros de entrada contemplados pelo software), escritos em língua inglesa (o que pode representar um empecilho para os aprendizes brasileiros não familiarizados ao idioma) e não têm como foco ensino dos usuários do programa computacional (em essência, são manuais de caráter informativo).

Enfim, estes foram os passos seguidos antes do esboço do manual. A Figura 2 resume a finalidade de cada fase da concepção, conforme o exposto nesta seção.

Figura 2: Síntese da finalidade de cada uma das fases de concepção do manual



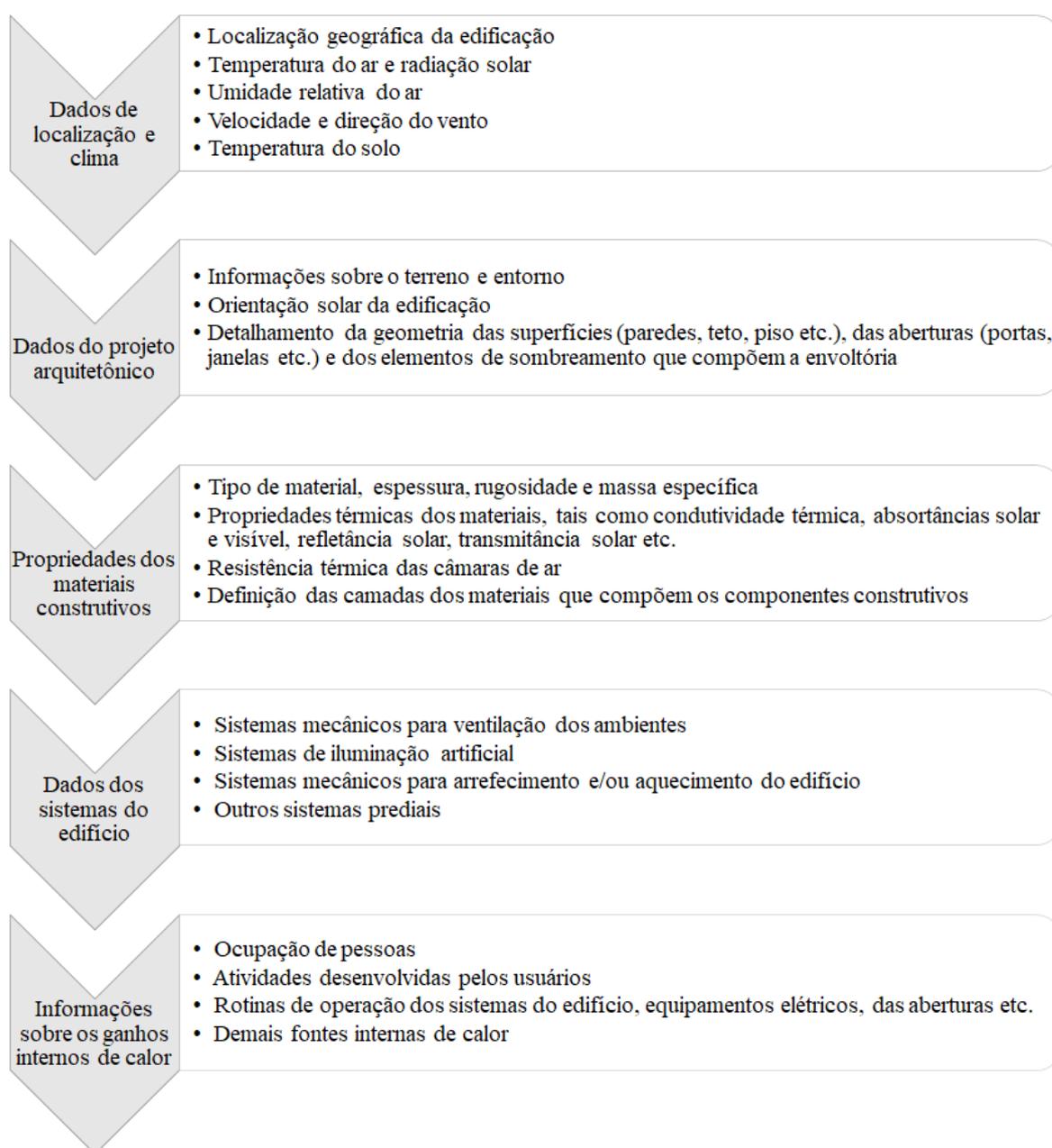
Fonte: Autor (2020)

Em posse do arcabouço teórico e de um programa computacional para o treinamento da prática, iniciou-se a etapa de “esboço” do manual, a começar pela organização do conteúdo programático e definição de sua estrutura.

3.2 Esboço

Na seção 3.1.1, afirmou-se que não há registros na literatura nacional de um material cujo conteúdo abarque a teoria e a prática fundamental da simulação para o ensino de iniciantes. E qual seria este conteúdo? Para categorizá-lo, é preciso conhecer os principais parâmetros de entrada envolvidos na simulação do desempenho de edifícios. A Figura 3 exibe um compilado dos dados comumente utilizados na modelagem e simulação de uma edificação.

Figura 3: Resumo dos parâmetros de entrada para simulação do desempenho de edifícios



Do mesmo modo, é preciso conhecer os dados de saída da simulação do desempenho de edifícios. Em escala geral, Kubo (2017) cita que estes referem-se à determinação:

- Dos ganhos de calor no edifício devido à radiação solar;
- Das trocas de calor por condução em regime transitório;
- Dos ganhos de calor oriundo das fontes internas, tais como a atividade metabólica dos ocupantes, a potência das luminárias, equipamentos, entre outras;
- Das trocas de calor por trocas de massa de ar, considerando a estanqueidade da envoltória e operação das aberturas;
- Das cargas térmicas de condicionamento/aquecimento, das temperaturas operativas dos ambientes internos e do consumo de energia do edifício com os sistemas AVAC, os quais geralmente são obtidos pelo método do balanço de energia.

Com base nisso, considerou-se como “fundamental” aos iniciantes o conteúdo capaz de muni-los do referencial teórico e prático que lhes possibilite conhecer e manipular este conjunto de parâmetros (de entrada e de saída) usualmente requeridos para simulação do desempenho de edifícios, incluindo a análise e interpretação dos resultados pós-simulação.

3.2.1 Estruturação do manual e organização dos conteúdos

Os parâmetros da simulação computacional termoenergética podem ser divididos em “grupos” de acordo com sua função na construção e detalhamento de um modelo, a exemplo do formato apresentado na Figura 3. Esta prática organizacional é seguida pelo EnergyPlus™. O editor de arquivos “.idf” (extensão utilizada pelo software), chamado de “IDF Editor”, dispõe todos os parâmetros contemplados pelo programa em uma lista de “classes”, que, por sua vez, ordena em grupos os “objetos” específicos de cada etapa da modelagem, tais como os grupos de objetos de localização e clima, superfícies e zonas térmicas, rotinas, materiais e componentes construtivos, ganhos internos e sistemas de climatização artificial.

Em concordância com este modelo de organização, estruturou-se o manual em módulos que compreendem os estágios da simulação do desempenho de edifícios. Esta opção pautou-se nos seguintes aspectos:

- A simulação computacional termoenergética é tanto uma disciplina de Engenharias e Arquitetura, quanto uma habilidade. Enquanto disciplina, requer fundamentação teórica, enquanto habilidade, requer treinamento prático. Ambos aspectos podem ser combinados dentro de cada módulo. Esta proposta, inclusive, tem o respaldo das comprovações das ciências da aprendizagem. Conforme apresentado na seção 2.2, o uso de exemplos e a realização de exercícios imediatamente após a teoria fortalece o conhecimento recém adquirido e torna mais eficiente o processo de aprendizagem;
- Ademais, a modularização facilita a organização dos temas de maneira “autônoma”. Um módulo pode conter o conteúdo específico que o indivíduo estava buscando sem que seja necessária a completa leitura dos demais. Um módulo pode ainda despertar o interesse de outrem ao estudo de um tema correlacionado muito além do conteúdo do manual. O formato modular possibilita, ainda, definir, de modo bastante preciso, onde começam e findam os conteúdos do guia. Com uma rápida consulta ao sumário, o leitor consegue ter ciência do teor de cada módulo.
- Por fim, os módulos, ao mesmo tempo que dividem o todo de um conteúdo, também comunicam a interdependência entre os temas que o compõem. O leitor interessado em dar seguimento ao estudo até o fim, consegue, facilmente, identificar a gradação da teoria e da prática da simulação computacional.

Cada módulo, por sua vez, desdobra-se em Capítulos, os quais contêm a “parte teórica” do manual e em Roteiros, responsáveis pela “parte prática”. Capítulos e Roteiros atuam em conjunto no processo de aprendizagem, conciliando teoria e prática: primeiro, o indivíduo lê o conteúdo e os procedimentos, compreende o que está sendo ensinado e, então, coloca em prática – por meio de exemplos e atividades – aquilo que foi estudado. A Figura 4 ilustra o processo de construção do conhecimento¹⁰ idealizado para os módulos do manual.

Figura 4: Processo de construção do conhecimento praticado em cada módulo do manual



Fonte: Autor (2020)

¹⁰ Presume-se que a consequência destes passos resulte no estágio último de “aprender”, embora esta hipótese restrinja-se a uma expectativa dos autores, pois, rememorando, aprender é algo pessoal e, como tal, depende da capacidade, interesse e esforços do leitor.

3.2.2 Definição do conteúdo-programático

Conhecidos os principais parâmetros envolvidos na simulação e definida a estrutura para apresentação dos conteúdos, passou-se o foco à distribuição e organização dos temas entre os módulos do manual. Verificou-se, assim, que um total de cinco módulos seriam suficientes para comportar todos os conteúdos considerados como fundamentais para o ensino da simulação do desempenho de edifícios aos iniciantes. O Quadro 2 resume os conteúdos e objetivos planejados para cada módulo.

Quadro 2: Conteúdos e objetivos de cada módulo do manual

Módulo	Objetivos	Síntese do Módulo
Módulo I Primeiros passos	Introduzir os conceitos fundamentais ligados à simulação do desempenho de edifícios e orientar o estudante na instalação dos programas EnergyPlus™ e OpenStudio®	Em “Primeiros Passos” são apresentados alguns dos desafios enfrentados pelo ambiente construído no século XXI. Na sequência, são introduzidos conceitos básicos sobre “o que é” e “como é aplicada” a simulação do desempenho de edifícios, as vantagens e limitações do uso desta ferramenta e um pouco da história da tecnologia. Por fim, o foco passa aos softwares EnergyPlus™ e OpenStudio®, sendo demonstrados os procedimentos para instalação destes programas computacionais
Módulo II O clima	Apresentar ao aluno as principais variáveis climáticas envolvidas na simulação e auxiliá-lo na interpretação dos dados climáticos	“O clima” aborda as variáveis climáticas envolvidas na simulação do desempenho de edifícios. Este módulo também apresenta os tipos de arquivo climático para uso em programas de simulação. Nos roteiros, é demonstrado os passos para conversão dos arquivos climáticos em um dos aplicativos do EnergyPlus™ e realizados estudos de análise dos dados de clima por meio do programa Excel
Módulo III A primeira simulação	Iniciar a lida com o ambiente de trabalho do EnergyPlus™, auxiliando o aprendiz a configurar e “rodar” uma simulação no programa	“A primeira simulação” inicia os contatos com o ambiente de trabalho do EnergyPlus™ a partir do mínimo de objetos necessários para “rodar” uma simulação no programa e analisar as variáveis de saída pós-simulação. As demonstrações são feitas a partir do arquivo Minimal.idf
Módulo IV A superfície	Possibilitar ao educando compreender os mecanismos de transferência de calor para o interior das edificações; ensiná-lo a modelar uma superfície de parede e os materiais construtivos que a compõe e simulá-la no EnergyPlus™	Este módulo traz um apanhado sobre os mecanismos de transferência de calor atuantes nas superfícies e zonas térmicas da envoltória, incluindo as propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos. Na prática, são demonstrados os processos para modelagem de uma superfície no plugin do OpenStudio® para SketchUp e a configuração dos materiais e componentes construtivos de uma parede no programa EnergyPlus™, incluindo simulação e análise dos resultados
Módulo V A zona térmica	Trazer ao conhecimento do aprendiz as fontes de ganhos de calor interno e orientá-lo na configuração das rotinas de uso e ocupação no EnergyPlus™	“A zona térmica” trata dos ganhos de calor interno da edificação, com foco no comportamento dos usuários. O módulo engloba a modelagem de uma zona térmica no plugin do OpenStudio® e a configuração das rotinas de ocupação e operação das cargas internas (pessoas, iluminação, equipamentos), das aberturas e do sistema de condicionamento de ar no EnergyPlus™

Fonte: Autor (2020)

Observa-se que o programa OpenStudio® aparece como parte integrante dos conteúdos dos Módulos I, IV e V. Este mecanismo computacional foi utilizado como um recurso didático em alternativa a determinados aspectos considerados menos “favoráveis” do EnergyPlus™ para o ensino de iniciantes, conforme os seguintes critérios:

- De acordo com Rodrigues (2014), o EnergyPlus™ não possui uma interface gráfica amigável, o que pode acabar frustrando os usuários nos primeiros contatos com a ferramenta (caso do público-alvo do manual). O sistema de modelagem dos aspectos físicos do edifício (paredes, tetos, aberturas) do EnergyPlus™ é por coordenadas cartesianas no espaço, o que é pouco visual e intuitivo. Se realizada diretamente no ambiente nativo do software, a construção do modelo demanda extrema atenção e tempo do usuário. Para completar, há sempre o risco de cometer erros no decorrer do processo (os quais aumentam à medida em que cresce o nível de complexidade da tipologia arquitetônica modelada);
- O OpenStudio®, por sua vez, representa uma alternativa facilitadora à modelagem da geometria da edificação (BRACKNEY et al., 2018). O referido programa possui capacidade de integração (por meio de um plugin) com os softwares SketchUp e EnergyPlus™. Essa associação possibilita modelar e caracterizar as superfícies da envoltória utilizando as ferramentas de “desenho” e o ambiente tridimensional do SketchUp e, ao final, exportar o modelo em um arquivo extensão “.idf” para uso no EnergyPlus™. Além disso, à medida que o usuário desenha as superfícies, aberturas e sombreamento do modelo, o padrão de construção do OpenStudio® converte-as automaticamente em elementos internos e externos de paredes, teto, piso, janelas, portas etc. (VERSAGE; LAMBERTS, 2010), enquanto que, no EnergyPlus™, estes elementos devem ser informados “manualmente” um a um.

Em face do exposto, o uso do plugin do OpenStudio® – como ferramenta para o ensino da modelagem dos aspectos geométricos das superfícies e elementos que constituem as zonas térmicas da envoltória – visa contribuir com a “atratividade” do manual (pela diversificação e ampliação de seu escopo) e com sua didática (a fim de tornar mais prático, visual e intuitivo o processo de aprendizagem destas etapas pelos iniciantes). Cabe pontuar que, além destes, outros mecanismos computacionais também foram explorados no ensino de assuntos específicos, os quais serão apresentados a seu tempo.

3.3 Desenvolvimento

Definido o escopo, a estrutura e os conteúdos do manual, deu-se início à sua construção de fato, a começar pelos elementos pré-textuais.

3.3.1 Elementos pré-textuais

Para realização desta etapa, tomou-se por base os elementos obrigatórios em livros de cunho didático e científico. Com isso, foram criados os seguintes tópicos para o manual:

- Capa, contendo título, subtítulo e nome dos autores. A arte da capa é original, fruto da inspiração artística do autor principal;
- Folha de rosto, contendo título e subtítulo;
- Dados de CopyRight©, contendo informações relativas aos direitos autorais e um resumo do currículo dos autores;
- Epígrafe, contendo uma citação direta extraída de Hensen e Lamberts (2011), livro referência na área de simulação do desempenho de edifícios;
- Prefácio, contendo uma apresentação do material e a exposição de itens informativos criados especificamente para o manual (apresentados posteriormente na subseção 3.3.5), e;
- Sumário, contendo uma lista dos títulos, subtítulos e respectivos números de página.

3.3.2 Elementos textuais

Em seguida, foram desenvolvidos os cinco módulos do manual, conforme a sequência exposta no Quadro 2. Foram utilizadas cores específicas para caracterização de cada unidade, a fim de facilitar a identificação visual dos módulos e a organização do manual. As cores foram definidas de maneira arbitrária, sendo aplicados tons de:

- Azul para o Módulo I;
- Verde para o Módulo II;
- Roxo para o Módulo III;
- Vermelho para o Módulo IV, e;

- Alaranjado para o Módulo V.

Os módulos, por sua vez, seguem a uma mesma configuração:

- Primeiro vem a capa do Módulo, contendo a respectiva numeração e título pintados na cor característica;
- Depois, um resumo de abertura prenuncia o teor dos conteúdos a serem estudados, disposto em uma seção à parte intitulada “Neste Módulo você aprenderá”;
- Então, começam os capítulos discorrendo sobre a teoria específica do tema;
- Em seguida, tem-se o roteiro (ou roteiros) contendo exemplos para o treinamento na prática do conteúdo recém-estudado;
- Ao final, uma seção contendo as atividades propostas – intitulada “Agora é com você” – a qual funciona como um “dever de casa” para o estudante e, na sequência, as referências bibliográficas do módulo.

3.3.2.1 Capítulos

Os capítulos compreendem o referencial teórico dos conteúdos projetados para cada um dos módulos do manual, conforme a programação estabelecida na seção 3.2.2.

O Quadro 3 resume a distribuição dos capítulos entre os módulos do manual, respectivos títulos e síntese dos conteúdos abordados em cada um.

Quadro 3: Resumo dos capítulos do manual

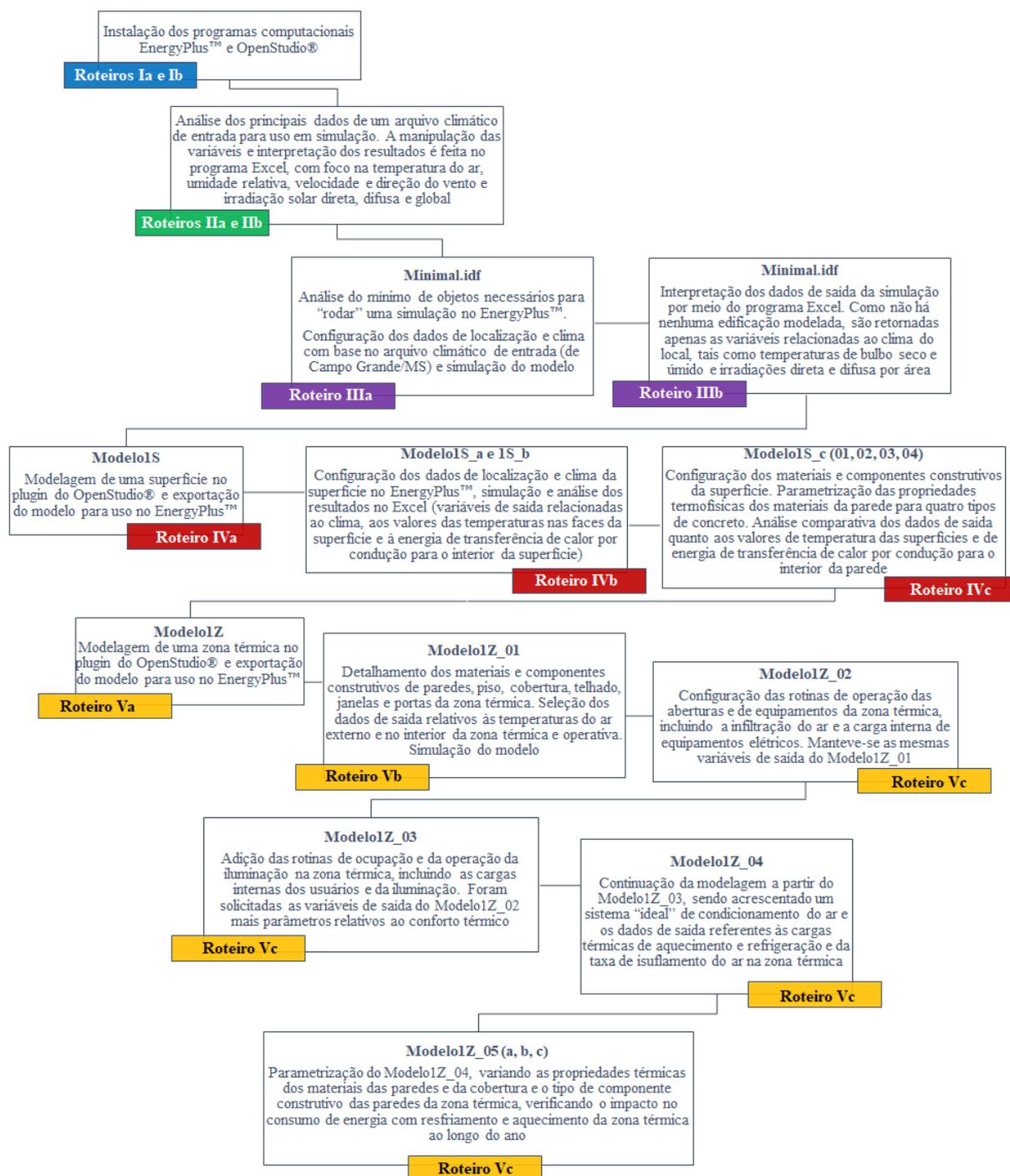
Módulo	Título do Capítulo	Síntese do conteúdo
Módulo I Primeiros passos	Capítulo primeiro – Introdução	Desafios enfrentados pelo ambiente construído no século XXI e a importância da simulação do desempenho de edifícios neste contexto.
	Capítulo segundo – A simulação do desempenho de edificações	Conceitos básicos sobre o significado de modelos e sobre “o que é” a simulação do desempenho de edifícios. Exemplos de aplicação da ferramenta durante as fases de projeto e em outros campos da ciência. Vantagens e limitações do uso de simulação computacional. Histórico da tecnologia até sua consolidação.
	Capítulo terceiro – O EnergyPlus™	Histórico do programa EnergyPlus™. Como o EnergyPlus™ “funciona” e os modelos matemáticos envolvidos nos cálculos do balanço de energia. O OpenStudio® como alternativa para modelagem dos aspectos físicos das edificações.
	Capítulo quarto – O arquivo climático	Os tipos de arquivo climático para uso em programas de simulação de edifícios. As variáveis climáticas contidas em arquivos climáticos.
Módulo II O clima	Capítulo quinto – Conhecendo o “Mínimo” do EnergyPlus™	Os principais componentes do EnergyPlus™. Os editores de arquivo extensão “.idf” do EnergyPlus™. Atalhos, funcionalidades e “botões” básicos do programa. Unidades de medidas para os principais parâmetros do EnergyPlus™.
Módulo III A primeira simulação	Capítulo sexto – A envoltória e os mecanismos de transferência de calor para o interior das edificações	Conceitos de envoltória, zona térmica e superfície. Mecanismos de transferência de calor atuantes nas superfícies.
Módulo IV A superfície	Capítulo sétimo – As propriedades térmicas dos materiais	Principais propriedades térmicas dos materiais construtivos. Bases de dados das propriedades térmicas dos materiais.
	Capítulo oitavo – O balanço térmico	Conceito do balanço térmico da envoltória. Fontes de ganhos de calor no interior da edificação.
Módulo V A zona térmica	Capítulo nono – O comportamento do usuário	A influência do usuário no desempenho da edificação. Base de dados das cargas internas: pessoas, iluminação, e equipamentos elétricos.
	Capítulo décimo – As rotinas de operação no EnergyPlus™	Detalhamento dos objetos referentes às rotinas que expressam a ocupação e o uso dos sistemas do edifício.
	Capítulo décimo primeiro – As cargas internas no EnergyPlus™	Detalhamento dos objetos relativos aos ganhos internos a partir das cargas de: ocupação, iluminação e equipamentos.

Fonte: Autor (2020)

3.3.2.2 Roteiros

Os roteiros, por sua vez, compreendem a parte prática do manual. A Figura 5 apresenta um fluxo das atividades e dos modelos desenvolvidos para treinamento dos usuários.

Figura 5: Práticas realizadas nos roteiros do manual



Fonte: Autor (2020)

Conforme é possível observar pela Figura 5, os roteiros foram desenvolvidos segundo a lógica da “modelagem passo-a-passo”, o que é próprio dos manuais e tutoriais de ensino. Este método foi idealizado a partir da perspectiva de um iniciante e funciona da seguinte maneira: à medida que o conteúdo vai se tornando mais denso e complexo, os modelos são “alimentados” com as novas informações recém estudadas.

Por exemplo, um indivíduo iniciante, após estudar a teoria básica em que está envolta a simulação e, como ainda não teve contato com nenhuma ferramenta computacional, realiza a instalação dos programas de simulação que irá utilizar.

Em seguida, ao estudar os tipos de arquivos climáticos e os parâmetros nele contidos, “baixa” um arquivo climático, analisa os dados de clima relativos à localidade a que se refere o arquivo e insere-o no programa computacional.

Depois, ao saber que outro parâmetro de entrada necessário para simulação é um arquivo com extensão específica que, no caso do EnergyPlus™, é do tipo “.idf”, o estudante insere um arquivo “.idf” com o mínimo de objetos necessários para “rodar” uma simulação. Este passo é feito a partir do “Minimal.idf”, um arquivo disponibilizado no diretório do EnergyPlus™.

Como o “Minimal.idf” não possui nenhuma informação relativa à edificação, tudo o que o indivíduo tem ao seu alcance são os dados relativos à localização e clima. Logo, o usuário trabalhará somente com aquilo que já estudou, agora, manipulando estas informações dentro do ambiente do programa computacional.

Conhecida a configuração do clima e as funções para utilização do software, o usuário começa, paulatinamente, a lidar com elementos mais avançados da modelagem, a começar por uma superfície. Primeiro, pela “construção” geométrica, depois pela atribuição dos materiais e propriedades térmicas, a fim de que esta torne-se um componente construtivo de uma parede.

Em seguida, mais superfícies são modeladas: quatro paredes, um piso, um telhado, as aberturas de janelas e portas. Agora, tem-se uma edificação representada por uma zona térmica. Sabendo dos parâmetros envolvidos no comportamento do usuário e dispondo de uma série de dados relativos às cargas internas, o estudante modela as rotinas de ocupação e as atividades desempenhadas pelos ocupantes da edificação. Progressivamente, os equipamentos elétricos passam a ser ligados em determinados períodos do dia, as luzes são acesas e as janelas e portas

são abertas para ventilação. Por fim, é instalado e operado um sistema de condicionamento do ar no interior da edificação.

Cada etapa é seguida da simulação, ajuste de erros e análise dos resultados. As variáveis de saída também seguem a lógica da modelagem passo-a-passo, conforme apontado na Figura 5. Inicia-se com os dados de clima (temperatura do ar externo, umidade relativa, velocidade e direção do vento, irradiação solar), em seguida, temperaturas nas faces da superfície e energia de transferência de calor por condução para o interior da parede (dados relativos ao estudo dos mecanismos de transferência de calor), então, temperaturas operativa e do ar no interior da zona térmica, parâmetros de conforto térmico (PMV/PPD e baseados no modelo de conforto térmico adaptativo) e cargas internas de resfriamento e aquecimento (conforme o conteúdo estudado no último módulo do manual).

Para demonstração das etapas de modelagem envolvendo aspectos físicos da edificação, foram desenvolvidos os “arquétipos” “Modelo1S” (representando uma superfície de parede) e “Modelo1Z” (representando uma edificação de uma zona térmica), respectivamente. Ambos modelos também foram construídos “passo-a-passo”, possibilitando ao estudante reproduzi-los em seu computador.

Em suma, os arquétipos são criados no plugin do OpenStudio® e exportados para uso no EnergyPlus™. O arquétipo serve de base para a adição de informações. Daí em diante, todas as configurações são feitas no EnergyPlus™. Cada variação do modelo é salva e renomeada, sendo mantido o nome original do arquivo, seguido de um número de identificação (01, 02, 03, ..., e assim por diante) e uma letra (a, b, ..., z), se necessário.

3.3.2.3 Exercícios

Todos os exercícios desenvolvidos para o manual são originais e fruto do entendimento dos autores daquilo que representa o essencial à aprendizagem do estudante em cada módulo. Ademais, os exercícios seguem a lógica da “modelagem passo a passo” aplicada aos roteiros, sendo, portanto, uma extensão dos exemplos de treinamento do usuário.

O Quadro 4 sintetiza o tipo e a proposta dos exercícios desenvolvidos em cada um dos módulos do manual.

Quadro 4: Resumo das atividades para treinamento dos usuários desenvolvidas no manual

Módulo	Classificação	Proposta do exercício
Módulo I	Teórico	Fixar conteúdos teóricos, tais como: “o que é” e “como é aplicada” a simulação do desempenho de edifícios; quais as principais vantagens de aplicação da ferramenta e o que é um programa computacional de simulação termoenergética.
Módulo II	Prático	Analisar, por meio de tabelas e gráficos, as principais variáveis climáticas de duas localidades distintas do Brasil, interpretando os dados a partir dos valores máximos, médios e mínimos registrados em cada município ao longo dos dias e meses do ano. Avaliar, por meio de cartas bioclimáticas, quais as estratégias bioclimáticas mais eficientes para promover o conforto térmico dos ocupantes das edificações destes locais durante o maior número de horas possível no ano.
Módulo III	Prático	Configurar, no EnergyPlus™, parâmetros de localização e clima de um município a partir do arquivo “Minimal.idf” e analisar as variáveis de saída relacionadas ao clima do local, com relação às variáveis de temperatura do ar externo, irradiações direta e difusa por área e velocidade do vento.
Módulo IV	Prático	Modelar, no plugin do OpenStudio®, uma superfície representando uma parede e, no EnergyPlus™, configurar os dados de localização e clima de determinado município e os materiais construtivos (e as propriedades térmicas) para dois componentes: uma parede espessa e uma parede com câmara de ar (ambos são modelos equivalentes, originários de uma alvenaria convencional de tijolos cerâmicos). Em seguida, simular os modelos, comparar as médias diárias e mensais de temperatura nas faces interna e externa da superfície e, com base nos resultados, apresentar os níveis de similaridade entre as paredes.
Módulo V	Prático	Modelar e caracterizar, no plugin do OpenStudio®, uma zona térmica situada em um determinado município e, no EnergyPlus™, configurar a localização e o clima, os materiais e componentes construtivos, as rotinas de ocupação e operação, as cargas internas e um sistema de condicionamento do ar. Como variáveis de saída, configurar os valores horários da temperatura de bulbo seco externa, da temperatura operativa e do consumo total de energia com climatização artificial. Analisar os dados pós-simulação por meio de tabelas e gráficos e comparar os resultados com o gabarito.

Fonte: Autor (2020)

3.3.3 Elementos pós-textuais

Findados os módulos, dois apêndices foram elaborados com intuito de complementar os conteúdos das unidades II e IV.

O apêndice do Módulo II abarca temas relacionados ao uso das variáveis climáticas para fins específicos, tais como: (i) em metodologias de zoneamento climático (incluindo a aplicação das ferramentas simulação do desempenho de edifícios na definição, validação e revisão de um zoneamento climático) e (ii) em cartas bioclimáticas, com foco na interpretação das estratégias de projeto passivo recomendadas para uma localidade (as cartas são visualizadas e analisadas por meio de programas computacionais e plataformas web gratuitas).

O apêndice do Módulo IV, por sua vez, apresenta dois tutoriais: um para o cálculo das propriedades térmicas de componentes construtivos de acordo com as diretrizes da normativa NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005) e, em outro, o método de cálculo da espessura equivalente de componentes construtivos para uso no EnergyPlus™, conforme os trabalhos de Ordenes et al. (2003) e Weber et al. (2017).

Para ambos Apêndices, adotou-se um mesmo padrão de coloração, sendo escolhida a cor preta. A rigor, procurou-se seguir a estrutura definida nos módulos, à exceção das seções “Neste Módulo você aprenderá” (presente no começo de cada módulo) e “Agora é com você” (no final de cada módulo), respectivamente. Estas seções foram “excluídas” estrategicamente, com intuito de:

- Aludir ao conteúdo do apêndice já na seção “Neste Módulo você aprenderá” dos módulos II e IV, com chamadas também no decorrer do texto. Com isso, desde o início do módulo, o estudante é incentivado à leitura do apêndice, tendo ciência do que poderá aprender caso opte por fazê-lo; e,
- Provocar (e, de certa forma, obrigar) o aluno a ler o apêndice para conseguir realizar completamente as atividades da seção “Agora é com você” dos módulos II e IV, visto que os exercícios propostos nestas unidades possuem etapas que só podem ser resolvidas com prévio conhecimento do conteúdo dos apêndices.

Estas estratégias conduzem o educando a refletir, do começo ao fim, sobre a necessidade de leitura dos apêndices. Este é um exemplo de aplicação da técnica de “lembrança” citada na seção 2.2 desta dissertação, a qual está calcada nas abordagens das ciências da aprendizagem e educação. Há, ainda, muitos outros casos em que estas práticas foram utilizadas.

3.3.4 Aplicação de estratégias de ensino-aprendizagem

Em todos os módulos do manual, foram exploradas estratégias de ensino-aprendizagem visando torná-lo mais didático e eficiente na construção do conhecimento. O Quadro 5 exhibe os modos de aplicação de cada uma das técnicas das ciências da aprendizagem, bem como alguns exemplos à guisa de ilustração.

Quadro 5: Resumo das técnicas de ensino-aprendizagem aplicadas no manual

Estratégias	Modos de aplicação	Exemplos da aplicação
Prática espaçada	Os conteúdos-chave de um módulo são evocados em outros módulos que não necessariamente estejam centrados no assunto que está sendo estudado naquele momento	Ao compreender que o programa computacional EnergyPlus™ é um modelo, o usuário acaba reestudando / lembrando o significado de modelo, um importante conceito introduzido a priori em outro capítulo. Toda modelagem demonstrada como exemplo busca referências nos conteúdos anteriores para o desenvolvimento das próximas etapas: clima / clima + materiais / clima + materiais + rotinas / clima + materiais + rotinas + cargas internas, e assim por diante. O mesmo vale para os dados de saída (o modelo de base é incrementado com novos parâmetros) e análise dos resultados pós-simulação (a temperatura de bulbo seco sempre está presente, por exemplo).
Intercalação	Os roteiros entremeiam a sequência da teoria geral da disciplina. Nos roteiros, o usuário tem a oportunidade de observar a resolução de um problema e solucioná-lo paralelamente, conforme a prática de exemplo e teste	Para rememorar o conteúdo teórico, o usuário deve responder exercícios de fixação após os roteiros práticos. Já para atingir o resultado observado em uma atividade prática, o estudante pode consultar o procedimento de exemplo constante no roteiro enquanto realiza o “teste”. As atividades são intercaladas e retomadas um ou dois capítulos depois, a fim de que o usuário tenha ciência do que foi feito e do que será feito a partir de então.
Lembrança	O usuário tem de resgatar na memória conhecimentos para solucionar um novo problema ou para entender um conceito introduzido	Para manipular os dados de saída obtidos do arquivo Minimal.idf, o usuário deve lembrar dos modos de análise e interpretação dos dados de clima do módulo anterior, pois agora os resultados lhe são apenas apresentados. Em outro exemplo, é sugerido ao estudante resolver os exercícios de fixação do Módulo I de maneira análoga ao uso de flashcards, forçando-o a trazer à mente conceitos já estudados. Além disso, constantemente são evocados conceitos e figuras dos módulos anteriores, utilizando termos como “lembra”, “rememore”, “note” e assim por diante.
Elaboração	A nova informação é conectada aos conhecimentos preexistentes tanto por texto quanto por imagens. Antes de ser apresentado um conceito ou fenômeno, são feitas perguntas ao usuário para conduzi-lo à reflexão sobre o tema	Pergunta-se “você sabe como o EnergyPlus™ funciona?” e, após a explicação (em texto), tem-se a representação em imagem do que acabara de ser abordado. Outro exemplo visual é o uso de “blocos de notas adesivas” (ou post-it) contendo a descrição dos conceitos fundamentais de cada módulo. O “hype cycle” da simulação ilustra de maneira visual e intuitiva a linha do tempo e os estágios da tecnologia ao longo do tempo, desde sua origem até consolidação.
Exemplificação concreta	Exemplos tangíveis são apresentados em texto ou imagens para que o usuário possa visualizar o fenômeno objeto de estudo ou melhor compreender aquilo que está sendo apresentado	São apresentadas edificações gregas da ilha de Santorini para ilustrar como o uso de cores de baixa absorvância solar diminuem o ganho de calor pela envoltória e o consumo de energia com refrigeração dos ambientes internos. Este exemplo é combinado com a presença de um “simulador iniciante” (o qual será apresentado na seção seguinte), a fim de facilitar a memorização da cena por parte do usuário. Depois, tem-se a explicação em texto relativa à chamada da imagem.
Codificação dupla	São utilizados esquemas ou fluxos para representar um conjunto de ideias ou passos de um determinado processo	Os parâmetros de entrada usualmente requeridos pelos programas computacionais de simulação do desempenho de edifícios são resumidos em um fluxo enquanto que os modos de aplicação da ferramenta em um infográfico. O gerenciador da simulação do EnergyPlus™ “conecta” os módulos do programa por meio de setas. Os passos para modelagem de uma superfície ou das superfícies de uma zona térmica também são conectados por setas e, em alguns casos, são incluídos recortes das ferramentas de desenho utilizadas para realização daquela etapa.

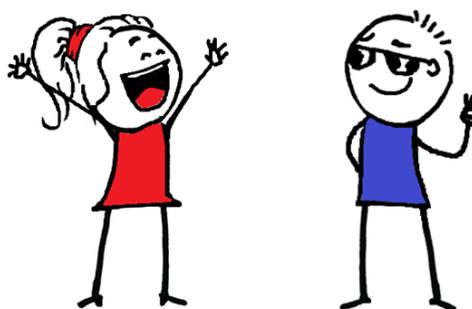
Fonte: Autor (2020)

3.3.5 Aplicação de outros recursos didáticos e ferramentas computacionais

Também foram aplicadas outras estratégias além das apresentadas na subseção anterior. Estas são de cunho “personalizado” e vão desde o modo de escrita do texto em primeira pessoa (visando estreitar a comunicação com o leitor), até a criação de personagens, ícones e símbolos visuais (planejados para chamar a atenção do usuário a um determinado assunto).

Os personagens foram idealizados e desenvolvidos pelo autor principal. Ambos foram desenhados em traços simples e representam dois jovens simuladores iniciantes. As cores preto e branco constituem a maior parte dos desenhos, embora as personagens também apresentem detalhes em “vermelho” (para a garota) e em “azul” (para o garoto). As cores foram escolhidas com base no emblema original do EnergyPlus™, conforme exemplificado na Figura 6.

Figura 6: Personagens desenhados para uso no manual



Fonte: Autor (2020)

Os personagens aparecem em diversos contextos e, geralmente, de maneira alternada, embora algumas vezes são apresentados juntos em uma mesma figura. Seu uso está atrelado principalmente à composição de: (i) ilustrações, a fim de torná-las mais chamativas, “estimular” a lembrança do leitor e prender sua atenção, e; (ii) “ícones” com finalidades diversas, visando estabelecer padrões de identificação facilmente reconhecíveis pelo leitor.

Os ícones são elementos de chamada para o texto e atuam em diversas frentes, tais como: dicas, recomendações de leitura, observações pontuais e no enunciado de exercícios de fixação ou de atividades práticas. Cada ícone conta com uma representação singular do personagem, elaborada de acordo com o contexto a que se refere. O Quadro 6 resume a função dos ícones desenvolvidos para o manual.

Quadro 6: Resumo dos ícones utilizados no manual

Ícone	Função
Atenção	Faz uma chamada para o aluno atentar-se a determinado assunto abordado no texto que merece destaque pela relevância
Dica	Aponta recursos que facilitarão a compreensão do conteúdo da disciplina ou mesmo a realização de algum procedimento em específico no programa computacional
Observação	Traz mais detalhes ao termo, palavra ou expressão utilizada no texto, uma curiosidade ou um complemento a uma informação específica
Para saber mais	Apresenta recomendações de leitura relacionadas a determinado tema para aqueles que desejam saber mais sobre o assunto
É hora de praticar	Atividades elaboradas para colocar à prova as habilidades do estudante e para revisar e fixar o conteúdo estudado

Fonte: Autor (2020)

Os ícones buscam também valorizar o “autodidatismo” dos alunos. Baretta et al. (2011) destacam que reproduzir informações já documentadas e disponíveis para todos é um mau aproveitamento de recursos. Não é necessário esgotar as informações relativas à matéria, quanto mais em um material voltado para principiantes, por isso a importância das recomendações de leitura. Como muitas das fontes utilizadas nos módulos remetem a trabalhos de acesso gratuito disponíveis na internet, primou-se por estimular o educando a buscar essas publicações caso queira inteirar-se mais sobre o objeto de estudo. O fato do aluno precisar obter uma informação e compreendê-la de maneira autônoma leva-o a um nível de reflexão muito maior do que se lesse (passivamente) todo o conteúdo apresentado no guia.

Além disso, foram utilizadas outras ferramentas computacionais (softwares, plugins, sites e plataformas web) relativos a temáticas específicas do manual. Analogamente ao descrito no parágrafo anterior, esses recursos foram aplicados com intuito de estimular a pesquisa e o uso de mecanismos que ajudem o indivíduo em sua aprendizagem. Ademais, a inserção dessas ferramentas torna a abordagem mais diversificada, incentiva a criatividade do aluno e amplia a compreensão dos fenômenos descritos.

Para modelar os aspectos geométricos da edificação, caracterizar suas superfícies, zonas térmicas e elementos da envoltória (portas, janelas, paredes, teto e telhado etc.), foi utilizado o plug-in do OpenStudio® para SketchUp, conforme já relatado. Para analisar os dados contidos em arquivos climáticos, foram usados os programas ClimateConsultant e Excel e as plataformas do projetEEE e Data View 2D. Para consulta dos mapas de zoneamento bioclimático do Brasil,

os programas ZBBR e RevZbBr. Para visualização das estratégias de arquitetura bioclimática, utilizou-se novamente o projetEEE. Para verificação das propriedades térmicas dos materiais construtivos, o aplicativo “Propriedades térmicas dos materiais”. Além destes, foram também estudados os aplicativos auxiliares do EnergyPlus™: Weather Statistics and Conversions, IDF Version Updater e o EP-Launch.

3.4 Publicação e divulgação

O manual será publicado de maneira independente, no formato de livro digital, e será disponibilizado de maneira gratuita, a fim de atingir o maior número possível de estudantes e profissionais interessados no todo ou em partes de seu conteúdo.

Além disso, o manual deterá um código ISBN para identificação e classificação da obra e salvaguarda dos direitos autorais. O ISBN¹¹ será emitido pela Câmara Brasileira do Livro (CBL), entidade atuante no Brasil desde o ano de 1946 em prol da proteção da propriedade intelectual (CBL, 2020).

O ISBN é um dos elementos da ficha catalográfica¹², juntamente com: (i) o código de Cutter-Sanborn¹³ (para identificação do autor principal e da obra), (ii) informações gerais para citação (nome completo dos autores, edição, local, ano de publicação etc.) e (iii) dígitos de identificação para catalogação da obra (códigos CDD e CDU¹⁴);

Cabe pontuar, no entanto, que a versão “piloto” do manual contida neste trabalho de conclusão de curso não possui uma ficha catalográfica (e, por extensão, ISBN), dado que o guia é um produto (apresentado na forma de um capítulo) da dissertação e, portanto, tem os direitos autorais resguardados pelo artigo 7º da Lei 9.610/1998¹⁵.

¹¹ O “International Standard Book Number” ou, simplesmente, ISBN, é um código padronizado de 13 dígitos utilizado internacionalmente para classificação de livros por título, autor, país, editora e edição.

¹² A ficha catalográfica contém as informações essenciais para identificação, classificação e catalogação da obra no âmbito nacional de maneira padronizada (dimensões, disposição dos elementos, número dos códigos etc.).

¹³ O código de Cutter-Sanborn indica a autoria de uma obra literária, com base nos dígitos correspondentes ao nome (exato ou o mais próximo) do autor principal, seguido da primeira letra do título do livro.

¹⁴ Tanto a Classificação Decimal de Dewey (CDD) quanto a Classificação Decimal Universal (CDU) são sistemas universais de classificação e organização do conhecimento que têm por função catalogar as obras de acordo com a área do conhecimento a que pertencem.

¹⁵ Segundo o art. 7º da Lei 9.610/1998, em seu caput, são protegidas as obras intelectuais que configuram criação do espírito, e expressas por qualquer meio ou fixadas em qualquer suporte. Dentre as obras protegidas elencadas no artigo 7º (incisos I e II) estão as obras científicas. Em face do exposto, a presente dissertação – em que consta o manual – está devidamente protegida à luz do direito autoral.

Inicialmente, o protótipo original do manual, por estar contido em uma dissertação de Mestrado, será hospedada no repositório digital do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES) e junto às demais produções científicas dos cursos de pós-graduação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Com isso, o endereço eletrônico do PPGEES e da UFMS atuarão, de maneira conjunta, como veículos de divulgação acessível aos interessados em baixar o material.

A opção pelos portais da referida Universidade não exclui outros meios de divulgação, visto que, em um segundo momento, prospecta-se a criação de um site específico para hospedar as novas versões do manual ou, ainda, adicioná-lo em plataformas e redes de pesquisadores, a exemplo do “ResearchGate”, entre outros.

4 PRODUTO RESULTANTE

Criado de modo a introduzir o leitor, parâmetro por parâmetro, no universo da simulação do desempenho de edifícios, esta pesquisa teve como produto resultante o intitulado “Manual de introdução à simulação do desempenho de edifícios – um curso para iniciantes no software EnergyPlus™”. Título e subtítulo retratam a ideia original de conciliar a teoria fundamental da disciplina com a prática requerida pela habilidade de simulação do desempenho de edifícios, respectivamente, em um único material.

O manual produzido conta com mais de 300 páginas de conteúdo, sendo escrito em fonte “Times New Roman” tamanho 12, com espaçamento entre linhas igual a 1,5 na maior parte do texto. Ao todo, reúne mais de uma centena de figuras distribuídas ao longo de seus 5 módulos, 11 capítulos e 12 roteiros, além de 2 apêndices. Para treinamento dos aprendizes, mais de 20 exemplos práticos foram desenvolvidos, além de 8 exercícios de fixação (sendo quatro teóricos e quatro práticos). Neste processo, 15 ferramentas computacionais (entre softwares, plataformas web e aplicativos) foram abordados como recurso didático para o ensino de iniciantes.

O material dispõe ainda de uma vasta base de dados e de referências bibliográficas para consulta, contemplando centenas de publicações (entre artigos científicos, dissertações, teses, livros, apostilas e manuais) das mais diversas áreas do conhecimento, bem como documentos normativos e regulamentos técnicos nacionais e internacionais.

A seguir, é apresentado o manual construído a partir desta pesquisa. Como trata-se de um “produto” original, este não segue às regras de formatação praticadas nesta dissertação.

MANUAL DE INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS

UM CURSO PARA INICIANTES NO SOFTWARE
ENERGYPLUS™

FRANKLIN PUKER DE SOUSA
ARTHUR SANTOS SILVA

MANUAL DE INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFÍCIOS

UM CURSO PARA INICIANTES NO *SOFTWARE*
ENERGYPLUS™

DADOS DE COPYRIGHT©

SOBRE A OBRA:

Disponibilizamos este material e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, a fim de que os conteúdos nele contidos sejam livres e acessíveis a todos. Por ser de domínio público, é expressamente proibida e totalmente repudiável a comercialização (e, por extensão, o plágio) deste guia, seja de partes ou do todo de seu conteúdo.

SOBRE OS AUTORES:

Franklin Puker de Sousa¹ é Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade (PPGEES) da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e está se especializando em Docência para a Educação Profissional, Científica e Tecnológica pelo Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS).

Arthur Santos Silva² é Professor Adjunto na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). É Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É coordenador do Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE). É docente dos cursos de graduação em Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, e no Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade. Foi outorgado com o Prêmio CAPES de Tese 2017 na área de Engenharias I. É revisor de periódico e também pesquisador em diversas áreas, como simulação computacional termoenergética; avaliação do nível de eficiência energética de edificações; avaliação de desempenho de edificações; tomada de decisão multicritério em alternativas de desempenho; análise de incertezas e sensibilidade em experimentos numéricos; otimização de desempenho de edificações, entre outras.

¹ Para maiores informações, consulte o perfil acadêmico do autor, disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/4855216838657853>>.

² Para maiores informações, consulte o perfil acadêmico do coautor, disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/7017962493418481>>.

“As a (future) simulator, please note that simulation is a skill that needs to be learned.”

(HENSEN; LAMBERTS, 2011)

UM MANUAL PARA INICIANTES

Prezado(a) leitor(a).

Este manual foi desenvolvido com intuito de auxiliá-lo no estudo e na aprendizagem da simulação do desempenho de edifícios, tanto na teoria quanto na prática. Para tanto, o material conta com cinco módulos, os quais contemplam, resumidamente, os seguintes conteúdos:

Módulo	Objetivos	Síntese do Módulo
Módulo I Primeiros passos	Introduzir os conceitos fundamentais ligados à simulação do desempenho de edifícios e orientá-lo na instalação dos programas EnergyPlus™ e OpenStudio®	Em “Primeiros Passos” são apresentados alguns dos desafios enfrentados pelo ambiente construído no século XXI. Na sequência, são introduzidos conceitos básicos sobre “o que é” e “como é aplicada” a simulação do desempenho de edifícios, as vantagens e limitações do uso desta ferramenta e um pouco da história da tecnologia. Por fim, o foco passa aos softwares EnergyPlus™ e OpenStudio®, sendo demonstrados os procedimentos para instalação destes programas computacionais
Módulo II O clima	Apresentar as principais variáveis climáticas envolvidas na simulação e auxiliá-lo na interpretação dos dados climáticos	“O clima” aborda as variáveis climáticas envolvidas na simulação do desempenho de edifícios. Este módulo também apresenta os tipos de arquivo climático para uso em programas de simulação. Nos roteiros, é demonstrado os passos para conversão dos arquivos climáticos em um dos aplicativos do EnergyPlus™ e realizados estudos de análise dos dados de clima por meio do programa Excel
Módulo III A primeira simulação	Iniciar a lida com o ambiente de trabalho do EnergyPlus™ e ajudá-lo a configurar e “rodar” uma simulação no programa	“A primeira simulação” inicia os contatos com o ambiente de trabalho do EnergyPlus™ a partir do mínimo de objetos necessários para “rodar” uma simulação no programa e analisar as variáveis de saída pós-simulação. As demonstrações são feitas a partir do arquivo Minimal.idf
Módulo IV A superfície	Entender os mecanismos de transferência de calor para o interior das edificações; ensiná-lo a modelar uma superfície de parede e os materiais construtivos que a compõe e simulá-la no EnergyPlus™	Este módulo traz um apanhado sobre os mecanismos de transferência de calor atuantes nas superfícies e zonas térmicas da envoltória, incluindo as propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos. Na prática, são demonstrados os processos para modelagem de uma superfície no plugin do OpenStudio® para SketchUp e a configuração dos materiais e componentes construtivos de uma parede no programa EnergyPlus™, incluindo simulação e análise dos resultados
Módulo V A zona térmica	Conhecer as fontes de ganhos de calor interno e auxiliá-lo na configuração das rotinas de uso e ocupação no EnergyPlus™	“A zona térmica” trata dos ganhos de calor interno da edificação, com foco no comportamento dos usuários. O módulo engloba a modelagem de uma zona térmica no plugin do OpenStudio® e a configuração das rotinas de ocupação e operação das cargas internas (pessoas, iluminação, equipamentos), das aberturas e do sistema de condicionamento de ar no EnergyPlus™

E não para por aí! Ao final, reservamos dois apêndices para complementar os conteúdos trabalhados nos módulos II e IV. O apêndice do Módulo II abarca temas relacionados ao uso das variáveis climáticas para fins específicos. O apêndice do Módulo IV, por sua vez, apresenta um passo a passo do cálculo das propriedades térmicas de componentes construtivos e o método de cálculo da espessura equivalente de componentes construtivos para uso no EnergyPlus™.

Além disso, são apresentadas outras alternativas de ferramentas computacionais muito além do *EnergyPlus*™. Por exemplo, para modelar os aspectos geométricos das edificações, caracterizar suas superfícies, zonas térmicas e elementos da envoltória (portas, janelas, paredes, teto e telhado etc.), utilizaremos o *plugin* do *OpenStudio* para *SketchUp*. Para análise dos dados de arquivos climáticos, os programas *ClimateConsultant* e *Excel* e a plataforma do *ProjetEEE*. Para consulta dos mapas de zoneamento bioclimático do Brasil, os programas *ZBBR* e *RevZbBr*. Para visualização das estratégias de arquitetura bioclimática, a plataforma *Data View 2D*. Para verificação das propriedades térmicas dos materiais construtivos, o aplicativo “*Propriedades térmicas dos materiais*”. Sem contar o uso dos aplicativos auxiliares do *EnergyPlus*™, como o *Weather Statistics and Conversions*, o *IDF Version Updater* e o *EP-Launch*.

O manual também está repleto de recomendações de leitura, demonstrações e atividades para testar suas habilidades. Então, “fique de olho” nas notas de rodapé e nos ícones “atenção”, “dicas”, “observação” e “para saber mais”, pois neles estão contidas informações valiosas! A propósito, procure acompanhar os passo-a-passos em seu computador e os exercícios de fixação não serão um problema. Mas não se preocupe! Os iniciantes Manuella d’Simulacione e Ernesto Plus³ estão aqui para ajudá-lo a não perder nada!



³ Qualquer semelhança aos termos “Manual de Simulação” ou “*EnergyPlus*” é uma mera coincidência.

Ufa! Bastante coisa, não é mesmo? E muito mais lhe aguarda nos próximos capítulos!

Esperamos que este material possa contribuir com seu enriquecimento intelectual e para sua formação acadêmica e profissional. Outrossim, desejamos que você adquira apreço pela simulação do desempenho de edifícios, afinal, é uma disciplina fascinante. Procure praticar e lembre-se, a evolução é inevitável para aqueles que persistem em se aperfeiçoar.

Desejamos-lhe uma boa leitura.

Os autores,

Franklin Puker de Sousa

Arthur Santos Silva

COMO UTILIZAR ESTE MANUAL

Como você perceberá no decorrer da leitura deste material, os conteúdos se entrelaçam e inter-relacionam a todo instante. Esta é uma das estratégias para construção do conhecimento aplicadas ao manual, oriunda dos estudos e práticas das ciências da aprendizagem e educação. Nunca ouviu falar? Não se preocupe, o assunto é novo mesmo, mas muito pertinente.

Não nos delongaremos muito no tema. Importa informa-lo que há uma série de técnicas disponíveis na literatura que potencializam a aprendizagem, muitas das quais foram utilizadas no desenvolvimento do manual. Este manual, aliás, é fruto de um trabalho de mestrado. Então aí vai nossa primeira recomendação de leitura: caso queiras saber mais sobre as abordagens das ciências da aprendizagem, consulte a dissertação de Sousa (2020): “Desenvolvimento de um manual para iniciantes em simulação do desempenho de edifícios”.

Mas, para não deixar o assunto “passar batido”, as modernas ciências da aprendizagem contam com embasamento científico robusto fruto de décadas de pesquisas e testes que avaliam a eficácia dos métodos de ensino-aprendizagem. Seu grande diferencial em relação às demais linhas pedagógicas é o foco no indivíduo aprendiz, buscando entender “como aprendemos?”.

Esta questão não é nada simples! Mas há significativos avanços nas descobertas. O que nos leva ao motivo desta seção: “Como utilizar este manual?”. E... não, não se trata de um “mini manual” do manual, apenas algumas dicas pontuais que lhe ajudarão no estudo.

Antes de iniciar cada módulo, faça um exercício de “lembança”. Resgate na memória aquilo que você já sabe sobre o conteúdo a ser estudado e quais questionamentos tais conteúdos suscitam em você. Anote esses questionamentos e, ao final da leitura, tente respondê-los. Esse processo prévio de reflexão acerca do que você sabe (conhecimento) e do que não sabe (lacunas) ajudará no novo aprendizado, pois a construção do saber se dá em rede. As informações novas vão se ligando a conhecimentos já existentes, ampliando sua complexidade e tornando-os, cada vez mais, consolidados em sua memória.

Pautado nesta gradação do processo de aprendizagem, na conexão entre os conteúdos e no entremeio da teoria com a prática da simulação, estruturamos cada módulo deste manual em Capítulos (onde você terá todo aporte teórico da disciplina) e Roteiros (nos quais você treinará, na prática, a habilidade de simulação computacional termoenergética). A lógica utilizada para o desenvolvimento destes elementos é a mesma de como você aprende: “passo a passo”. Então,

se ficou alguma dúvida para trás, retorne, ou faça uma busca na internet, ou em livros, enfim, você não aprenderá coisa alguma se não for professor de si mesmo.

Falando nisso, temos espaço para nossa próxima dica: faça perguntas a você mesmo e procure respondê-las de forma simples. Por quê? Bom, vamos incentivar seu “autodidatismo”. Busque na internet estudos (ou mesmo vídeos) sobre a “Técnica Feynman” (isso mesmo, é uma estratégia de aprendizagem que leva o nome de seu proponente, o ganhador do Nobel de Física Richard Philips Feynman, que, inclusive, já lecionou no Brasil⁴, sabia?).

Logo, se queres aprender de verdade, seja professor de si mesmo e, então, este material lhe será um grande apoio! Como bônus, considere ainda as seguintes dicas. (i) Procure utilizar o “Pomodoro” para otimizar seus estudos, técnica de Francesco Cirillo; (ii) Há uma série de cursos de aprendizagem na internet. Como recomendação, sugerimos o curso “Learning How To Learn”, de Barbara Oakley. (iii) Do mesmo modo, há alguns bons livros no assunto, com destaque para o livro “Como aprendemos?”, de Benedict Carey.

Ufa! Muitas informações antes mesmo de começarmos o estudo. Agora sim, vamos para o primeiro capítulo?! Calma, ainda falta uma coisa: “entender os ícones”. Ícones?

⁴ Richard P. Feynman (1918 – 1988) lecionou no Rio de Janeiro em 1950 para alunos dos cursos de Física e Engenharia. Os relatos de suas impressões sobre o ensino brasileiro estão relatados em seu livro “O senhor está brincando, Sr. Feynman!”.

ENTENDA OS ÍCONES

Atenção!!! Faz uma chamada para que você tenha cautela ou atente-se a determinado assunto abordado no texto, que merece destaque pela relevância.



Dica!!! Aponta recursos que facilitarão a compreensão do conteúdo ou mesmo a realização de algum procedimento específico no programa computacional.

Observação!!! Traz mais detalhes ao termo, palavra ou expressão utilizada no texto, uma curiosidade ou um complemento a uma informação específica como em uma nota de rodapé.



Para saber mais!!! Apresenta recomendações de leitura relativas ao conteúdo que está sendo trabalhado, caso você queira saber mais sobre o assunto.

É hora de praticar!!! Atividades desenvolvidas para testar suas habilidades, rememorar os conteúdos e fixar tudo o que fora estudado.



SUMÁRIO

MÓDULO I PRIMEIROS PASSOS	1
NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ	2
CAPÍTULO PRIMEIRO INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO SEGUNDO A SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES	20
2.1 APLICAÇÕES, VANTAGENS E LIMITAÇÕES	23
2.2 UM BREVE HISTÓRICO	27
CAPÍTULO TERCEIRO O <i>ENERGYPLUS™</i>	30
3.1 COMO O <i>ENERGYPLUS™</i> FUNCIONA	32
3.2 O <i>OPENSTUDIO®</i>	34
ROTEIRO I-a INSTALANDO O <i>ENERGYPLUS™</i>	36
ROTEIRO I-b INSTALANDO O <i>OPENSTUDIO®</i>	39
AGORA É COM VOCÊ	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
GABARITO	51
MÓDULO II O CLIMA	53
NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ	54
CAPÍTULO QUARTO O ARQUIVO CLIMÁTICO	55
ROTEIRO II-a CONVERSÃO DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS	59
ROTEIRO II-b ANÁLISE DOS DADOS DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS	66
AGORA É COM VOCÊ	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
MÓDULO III A PRIMEIRA SIMULAÇÃO	81
NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ	82
CAPÍTULO QUINTO CONHECENDO O “MÍNIMO” DO <i>ENERGYPLUS™</i>	83
5.1 O <i>EP-LAUNCH</i>	83
5.2 O <i>IDF EDITOR</i>	88
5.3 O <i>TEXT EDITOR</i>	96
5.4 UNIDADES DE MEDIDA DO <i>ENERGYPLUS™</i>	98
ROTEIRO III-a CONHECENDO O <i>MINIMAL.IDF</i>	100
AS CLASSES DE OBJETO DO <i>MINIMAL.IDF</i>	101
ROTEIRO III-b SIMULANDO O <i>MINIMAL.IDF</i> NO <i>ENERGYPLUS™</i>	109
AS VARIÁVEIS DE SAÍDA DO <i>MINIMAL.IDF</i>	117

AGORA É COM VOCÊ.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
MÓDULO IV A SUPERFÍCIE.....	121
NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ.....	122
CAPÍTULO SEXTO A ENVOLTÓRIA E OS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O INTERIOR DA EDIFICAÇÃO.....	123
6.1 CONDUÇÃO TÉRMICA.....	127
6.2 CONVECÇÃO TÉRMICA.....	128
6.3 RADIAÇÃO.....	128
ROTEIRO IV-a MODELANDO UMA SUPERFÍCIE NO <i>OPENSTUDIO</i> ®.....	130
ROTEIRO IV-b SIMULANDO UMA SUPERFÍCIE NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	138
MODELO1S_a.idf.....	139
MODELO1S_b.idf.....	140
CAPÍTULO SÉTIMO AS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS.....	147
ROTEIRO IV-c CONFIGURANDO OS MATERIAIS DE UMA SUPERFÍCIE NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	154
MODELO1S_c.idf.....	159
AGORA É COM VOCÊ.....	163
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
GABARITO.....	169
MÓDULO V A ZONA TÉRMICA.....	173
NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ.....	174
CAPÍTULO OITAVO O BALANÇO TÉRMICO.....	175
ROTEIRO V-a MODELANDO UMA ZONA TÉRMICA NO <i>OPENSTUDIO</i> ®.....	178
ROTEIRO V-b CONFIGURANDO UMA ZONA TÉRMICA NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	187
MODELO1Z_01.idf.....	188
CAPÍTULO NONO O COMPORTAMENTO DO USUÁRIO.....	199
CAPÍTULO DÉCIMO AS ROTINAS DE OPERAÇÃO NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	206
CAPÍTULO DÉCIMO PRIMEIRO AS CARGAS INTERNAS NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	215
ROTEIRO V-c CONFIGURANDO AS CARGAS INTERNAS NO <i>ENERGYPLUS</i> ™.....	225
MODELO1Z_02.idf.....	225
MODELO1Z_03.idf.....	230
MODELO1Z_04.idf.....	238
ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	246
AGORA É COM VOCÊ.....	259
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	262

GABARITO	265
APÊNDICE DO MÓDULO II.....	266
APLICAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	267
5.1 ATUAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO CONFORTO HUMANO	270
5.2 USO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	272
5.3 O USO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ZONEAMENTOS CLIMÁTICOS.....	275
ROTEIRO AP-MII ANÁLISE DOS DADOS DE CLIMA A PARTIR DE CARTAS PSICROMÉTRICAS E BIOCLIMÁTICAS	280
O <i>CLIMATE CONSULTANT</i>	280
O <i>PROJETEE</i>	287
O <i>DATAVIEW 2D</i> E O <i>PSYSCHROMETRIC CHART 2D</i>	294
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	296
APÊNDICE DO MÓDULO IV.....	299
CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS E O MÉTODO DA ESPESSURA EQUIVALENTE.....	300
CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS	300
CÁLCULO DO COMPONENTE EQUIVALENTE	304
ROTEIRO AP-MIV CONFIGURAÇÃO DE UM MODELO EQUIVALENTE NO PROGRAMA <i>ENERGYPLUS™</i>	307
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	315

MÓDULO I

PRIMEIROS PASSOS

NESTE MÓDULO VOCÊ

APRENDERÁ

Você sabe o que é um modelo computacional? E o que é a simulação do desempenho de edifícios? Para que, exatamente, serve esta ferramenta? Onde posso aplicá-la? E quais as vantagens em utilizá-la? Ora, são muitos questionamentos, não é verdade? Em “Primeiros Passos”, você terá acesso às respostas.

O Módulo I se inicia com alguns dos principais desafios enfrentados pelo ambiente construído no século XXI, com foco na realidade das edificações brasileiras. Pautado no papel desempenhado pelos mecanismos de simulação computacional nas soluções de engenharia e arquitetura, são introduzidos conceitos fundamentais sobre “o que é” e “como é aplicada” a simulação do desempenho de edifícios, além das vantagens inerentes ao uso desta ferramenta, algumas considerações acerca de suas limitações e um pouco da história da tecnologia.

Na sequência, o foco do estudo passa aos programas computacionais *EnergyPlus*TM e *OpenStudio*®, duas ótimas ferramentas para análise do desempenho térmico e energético das edificações. Por fim, dois roteiros apresentam os procedimentos necessários para instalação dos referidos programas e, em um mui breve paralelo, alguns comentários sobre o *Euclid* enquanto alternativa para o *OpenStudio*®. Sem mais, vamos aos primeiros passos!

CAPÍTULO PRIMEIRO

INTRODUÇÃO

Existe uma (errônea) ideia global de crescimento “infinito” do PIB e disponibilidade ilimitada de recursos naturais. De acordo com Jackson (2013), essa convicção gera inevitáveis pressões nos setores que movimentam a economia para aumentarem – cada vez mais – o ritmo de produção (labor) e, conseqüentemente, o consumo (capital). Porém, esses setores precisam de energia para continuarem operando.

Mão-de-obra e capital, no entanto, não produzem energia, mas extraem energia para produzir – e essa premissa faz toda a diferença no prognóstico de crescimento econômico de um país, especialmente em um mundo no qual os combustíveis fósseis representam o insumo essencial para o ideal funcionamento dos setores que movem a economia (e a tendência é que se mantenham nas próximas décadas) (AYRES; AYRES, 2012).

Mas, inevitavelmente, as fontes não renováveis esgotarão em algum momento. Uma vez ausentes e se, até lá, não houver substituto à altura, o desempenho das atividades produtivas estará comprometido pela falta de energia. Como os setores da economia são interdependentes, reações em cadeia começarão a ocorrer até que se atinja o colapso do sistema. Em um cenário de crise energética como este, Ayres *et al.* (2013) projetam uma profunda recessão econômica para o futuro do planeta.

A fim de evitá-la, os referidos autores sustentam a necessidade de um drástico aumento no atual ritmo de transição para as energias renováveis, a criação de políticas e programas mais centrados na eficiência energética e uso racional de energia e a melhoria na eficiência energética da economia dos países desenvolvidos e emergentes – contexto no qual insere-se o Brasil.

Nesse sentido, Geller *et al.* (2004) foram um dos precursores a tratarem das questões de políticas energéticas em prol de um desenvolvimento nacional mais sustentável. Desde 2004, os autores já alertavam sobre a necessidade de elaboração e aplicação de programas voltados à eficiência energética, no intuito de reduzir o consumo de energia e substituir os combustíveis fósseis pelas energias renováveis.

Na visão Geller *et al.* (2004), a implementação destas políticas resultaria em benefícios de ordem socioeconômica ao Brasil, graças às reduções nas necessidades de investimento no setor de energia, das importações de energia, dos desperdícios energéticos e das emissões de

CO₂. A fim de atingir esses objetivos, os autores sugeriam a adoção de padrões mínimos de eficiência e níveis máximos de consumo de energia – expressos em selos de conformidade (etiquetas) – a serem adotados por equipamentos elétricos e eletrodomésticos e, a posteriori, pelas edificações brasileiras, visando angariar aceitação popular pela contínua inserção no mercado dos produtos certificados.

Parte desta estratégia obteve êxito, pois o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), contribuiu significativamente para racionalização do uso de energia ao fornecer informações sobre o nível de eficiência energética dos equipamentos comercializados no mercado nacional (PROCEL, 2020). Desde então, os consumidores têm primado adquirir produtos cujas etiquetas atestem que o equipamento é energeticamente eficiente.

Entretanto, no que tange ao setor das edificações, Lopes *et al.* (2016) e Fossati *et al.* (2016) observam que ainda não se obteve o mesmo sucesso, alcance e aceitação popular⁵. Tal fato é preocupante, já que as edificações respondem por uma parcela significativa do consumo final de energia, na ordem de 50% (BRASIL, 2019). Ademais, a série histórica do Balanço Energético Nacional (BEN) demonstra que o consumo de energia deste setor tem se mantido crescente nos últimos anos (BRASIL, 2017; BRASIL, 2019). Não por acaso, o Brasil aparece no *ranking* dos dez maiores consumidores de energia do mundo, de acordo com estimativas do World Bank (2015).

O exposto denota quão inúmeros são os desafios energéticos do ambiente construído no século XXI (IEA, 2020). É imprescindível mitigar o desperdício de energia (PUCRS, 2010) e aprimorar a eficiência energética das edificações (INVIDIATA *et al.*, 2016). É igualmente necessário um melhor estoque de edifícios, que ofereça maior conforto a seus ocupantes e apoie a atividade econômica de uma população em rápida expansão e urbanização (BRACKNEY *et al.*, 2018) – e transformar essas medidas em ações à sociedade passa, necessariamente, pelo planejamento e uso de tecnologias em projeto.

Para tanto, existem ferramentas tradicionais de projeto de engenharia e os mecanismos computacionais de simulação do desempenho de edificações. Se, por um lado, as primeiras são monodisciplinares e restritas, assumem condições de contorno estáticas e fundamentam-se em

⁵ Não obstante, é preciso reconhecer o significativo progresso desempenhado pelas normativas e regulamentos na melhoria do conforto térmico e da eficiência energética do ambiente construído brasileiro nos últimos anos, com destaque para as normativas de conforto térmico e desempenho das edificações, ABNT NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005) e ABNT NBR 15.575: 2013 (ABNT, 2013) respectivamente, e para os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos – RTQ-C (BRASIL, 2010) e edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012).

métodos analíticos, que em grande parte visam fornecer uma solução exata de um modelo com várias simplificações da realidade, por outro, as ferramentas computacionais de simulação são multidisciplinares e amplas em escopo, assumem condições de contorno dinâmicas e contínuas no tempo e são baseadas em métodos numéricos que visam fornecer soluções aproximadas de modelos representativos da complexidade do mundo real (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

E é justamente essa capacidade de simular o comportamento das edificações que permite ao projetista identificar as variáveis mais influentes no desempenho termoenergético do edifício e, então, manipular essas informações a fim de apontar as soluções mais eficientes em projeto sem a necessidade de intervenções na edificação (AUGENBROE, 2002; RAFTERY, KEANE, O'DONNELL, 2011).

Ora, prever (simular) o comportamento de uma edificação é notoriamente mais eficiente e econômico do que corrigir problemas quando esta já está operando (AUGENBROE, 2011). Dados do *American Institute of Architects* (AIA) mostraram que edificações projetadas usando simulação computacional consomem 20% menos energia em comparação àquelas que não a utilizaram em projeto (AIA, 2020).

Em face do exposto, a simulação computacional de edificações é um mecanismo *sine qua non* para projetar e operar edificações com níveis de eficiência energética desejáveis e necessários para o futuro do planeta. Não é para menos que autores como Malkawi e Augenbroe (2003) consideram-na a ferramenta mais precisa na previsão do desempenho termoenergético das edificações e Hensen e Lamberts (2011) classificaram-na como uma das mais poderosas ferramentas do mundo moderno. Mas afinal, o que é a simulação do desempenho de edifícios?

CAPÍTULO SEGUNDO

A SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

O “mundo” é regido por leis que a ciência tem a intenção de descobrir e utilizar para diferentes propósitos. Estas leis são alvo de contínuas tentativas de representação até que se tornem compreensíveis ao entendimento humano. Para tanto, a ciência trata de codificar esses comportamentos dentro de modelos. Contudo, o mundo real continua sendo governado por leis naturais, enquanto que os modelos por leis matemáticas e computacionais. Então, ainda que o modelo seja conformado com o sistema, o sistema não é conformado com o modelo. Logo, diferentes modelos com diferentes leis internas podem chegar aos mesmos resultados de observação do mundo (SILVA, 2016, p. 74).

Tendo em vista que o termo “simular” – em seu sentido mais amplo – está relacionado a uma tentativa humana de representação da realidade, depreende-se do parágrafo anterior que a simulação, por si só, consiste em um modelo. No caso da simulação do desempenho de edifícios, especificamente, tem-se um modelo baseado em fundamentos físicos e princípios e ensaios em modelos representativos que expressam o comportamento térmico e energético de uma edificação real em um ambiente computacional.

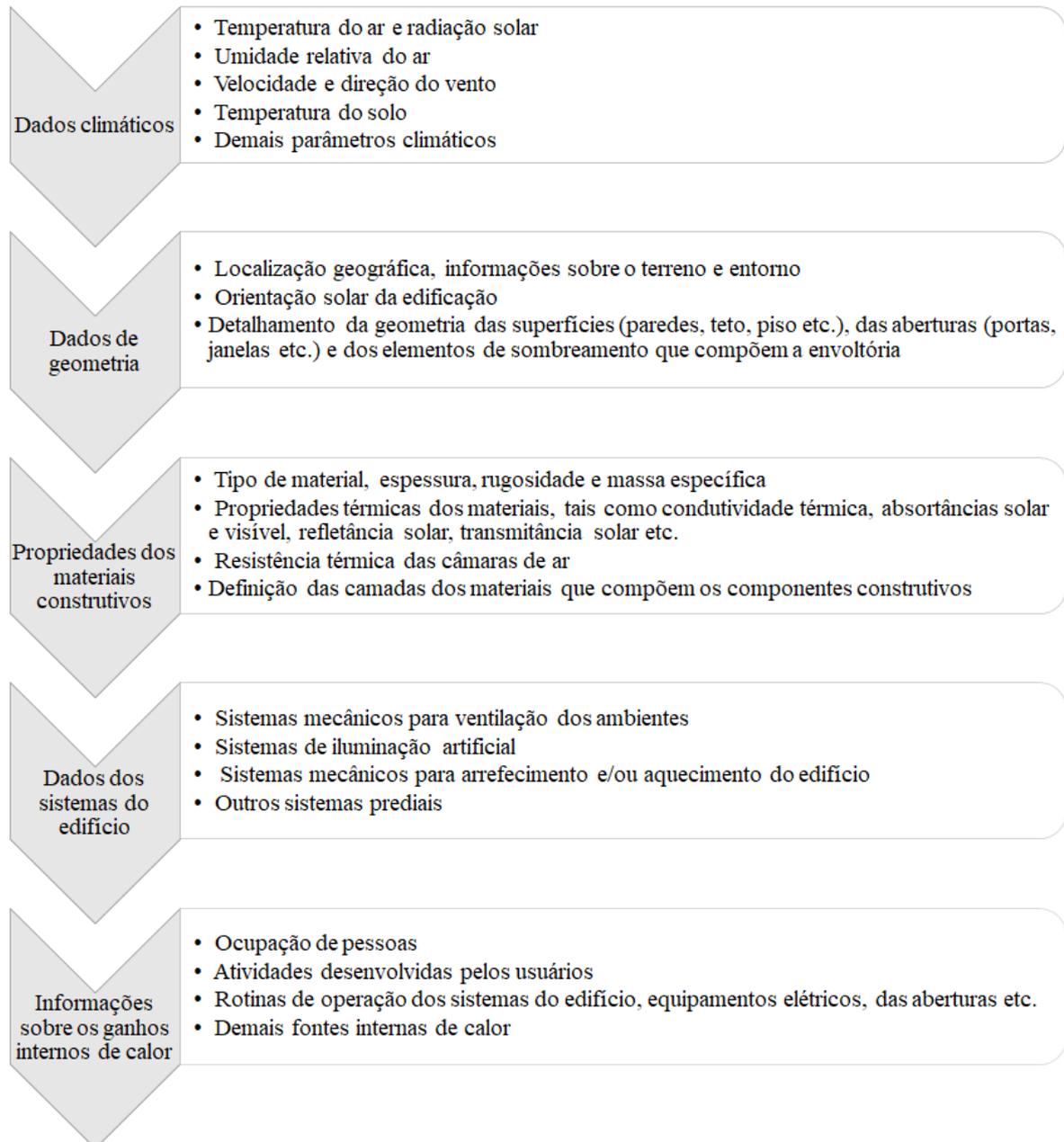
Consequentemente, se as edificações reais possuem variáveis de ordem geométrica e termofísica, interagem com o clima local e possuem ocupantes em seu interior, com diferentes rotinas e modos de uso e operação dos sistemas prediais, então esses e outros parâmetros que influenciam em seu desempenho térmico e consumo de energia devem, necessariamente, ser transmitidos (isto é, modelados) para o âmbito virtual.

Para tanto, existem diversos modelos matemáticos capazes de comportar esse esparso conjunto de variáveis, tais como os modelos solar, de fenestrações, de cargas internas, de sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) e de transferência de calor em elementos construtivos. Todos estes modelos interagem entre si em determinados intervalos de tempo, até culminarem no modelo de balanço térmico, o qual é responsável por calcular a maioria das variáveis de interesse do simulador (CRAWLEY *et al.*, 2008).

Esses modelos podem ser programados de diferentes maneiras e, como resultado, cada *software* terá seu próprio modo de “interpretar” e processar os dados que lhe são fornecidos. O usuário, por sua vez, tem a incumbência de “alimentar” o programa computacional com os

dados de entrada (*inputs*) adequados à finalidade daquilo que pretende analisar (PRESSMAN, 2011). Na Figura 1 é apresentado um resumo dos parâmetros de entrada usualmente requeridos pelos programas de simulação do desempenho de edifícios. Caso alguns termos soem novos a você, não se preocupe, pois estes serão devidamente abordados no decorrer deste manual.

Figura 1: Resumo dos parâmetros de entrada para simulação do desempenho de edifícios



A este processo de “construção” da edificação, parâmetro por parâmetro, dentro de um programa de simulação computacional, dá-se o nome de modelagem para análise de energia da edificação (uma livre tradução do inglês, *building energy modeling* – BEM) (BRACKNEY *et*

al., 2018). Uma vez concluída a modelagem, os algoritmos efetuarão cálculos horários e o *software* retornará os dados de saída (*outputs*) requisitados pelo simulador.

De acordo com Kubo (2017), os dados de saída pós-simulação, em escala geral, referem-se à determinação:

- Dos ganhos de calor no edifício devido à radiação solar, por meio de equações referentes à geometria solar e distribuição da radiação;
- Das trocas de calor por condução em regime transitório, pelos métodos dos fatores de resposta térmica e das diferenças finitas;
- Dos ganhos de calor oriundo das fontes internas, tais como a atividade metabólica dos ocupantes, a potência das luminárias, entre outras;
- Das trocas de calor por trocas de massa de ar, considerando no cálculo a estanqueidade da envoltória e operação das aberturas;
- Das cargas térmicas de condicionamento/aquecimento, das temperaturas operativas dos ambientes internos e do consumo de energia do edifício com os sistemas de AVAC, os quais podem ser obtidos por diversos métodos, como do balanço de energia, dos fatores de ponderação etc.

Em posse dos dados de saída, o simulador poderá realizar diversas análises. Vimos, até então, o uso da simulação para avaliações do consumo de energia e do desempenho térmico das edificações. Em um contexto geral, esta é uma análise intrínseca à ferramenta, mas fato é que as saídas poderão ser aproveitadas em outras investigações, como, por exemplo, em análises do comportamento dos sistemas de AVAC e climatização híbrida (ventilação natural associada ao condicionamento artificial do ar) (VEIGA *et al.*, 2019) ou em análises da sensibilidade de cada um dos parâmetros que influem no desempenho termoenergético da edificação e das incertezas / variabilidades relacionadas aos dados de saída (SILVA, 2016).

Nessa perspectiva, a literatura científica registra uma série de aplicações das ferramentas de simulação do desempenho de edificações, desde soluções de projeto até intervenções quando o edifício já está operando. É razoável, portanto, em um contexto de um material voltado para iniciantes, que os leitores tenham ciência do panorama geral dos usos, vantagens e limitações desta tecnologia.

2.1 APLICAÇÕES, VANTAGENS E LIMITAÇÕES

Começando pelo pré-projeto, Rodrigues e Pedrini (2017) citam que a simulação auxilia a estabelecer uma melhor compreensão do edifício como um todo e como a caracterização do modelo pode aperfeiçoar o desempenho termoenergético do edifício. Ainda nesta etapa, Walsh-García (2017) aponta o uso do mecanismo no processamento dos dados de arquivos climáticos e em análises de orientação e entorno da edificação.

Na concepção do projeto, a simulação fornece subsídios para definição de estratégias de arquitetura bioclimática (ou estratégias de conforto térmico passivo) e permite que o modelo base seja aprimorado (SORGATO, 2009). Durante o desenvolvimento do projeto, por sua vez, a ferramenta é aplicável tanto em avaliações preditivas quanto na identificação dos parâmetros mais influentes visando o aperfeiçoamento do desempenho térmico e energético da edificação (WANG, MATHEW, PANG, 2012; SILVA, 2016).

Já na pós-ocupação, a simulação possibilita realizar o comissionamento⁶ e identificar as práticas dos usuários mais prejudiciais ao desempenho da edificação (AUGENBROE, 2002). Além disso, sua utilização aporta intervenções no edifício para: otimização dos sistemas de controle, redução do consumo de energia e melhoria do conforto dos indivíduos. O rol de usos da ferramenta engloba ainda aplicações no *retrofit*⁷ do ambiente construído, na calibração dos modelos energéticos (HEO; CHOUDHARY; AUGENBROE, 2012) e no *benchmarking*⁸ das edificações (BORGSTEIN, LAMBERTS, 2014; SHABUNKO, LIM, MATHEW, 2018).

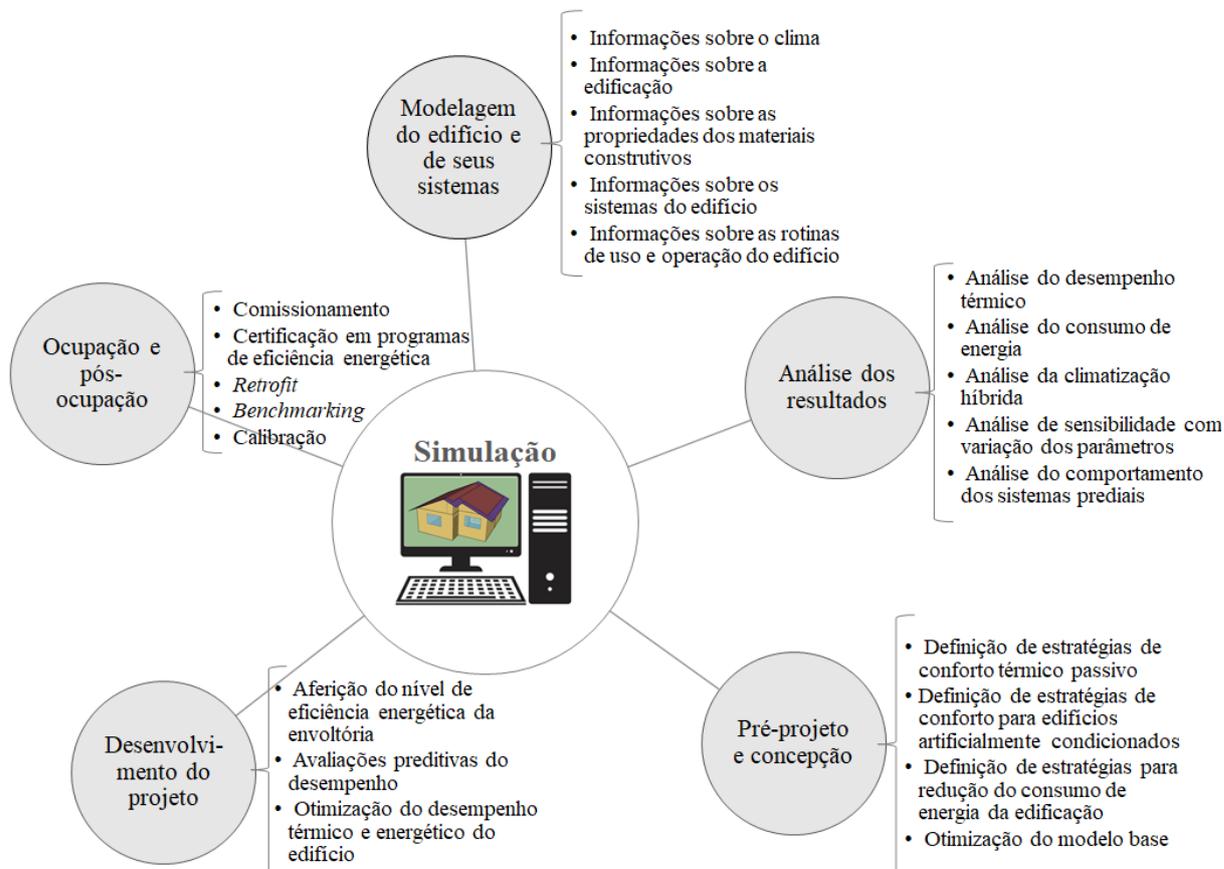
Ademais, a simulação do desempenho de edifícios é um artifício presente em normativas e programas de certificação, manuais e regulamentações concernentes à avaliação e melhoria do nível de eficiência energética do estoque de edificações de muitos países (CAMELO *et al.*, 2006; MOLLE, PATRY, 2013; SORGATO *et al.*, 2014). A Figura 2 apresenta um infográfico das possibilidades de inclusão da simulação computacional termoenergética nas fases de projeto descritas nesta seção.

⁶ Procedimento pelo qual os dados de uso e operação do edifício são comparados com os resultados das simulações, a fim de identificar quais sistemas não estão funcionando de acordo com o previsto.

⁷ Termo de língua inglesa utilizado para designar o processo de modernização ou “reforma” de uma edificação.

⁸ Processo de comparações entre edifícios que ofereçam um mesmo serviço ou possuam um destino em comum, como forma de tirar o melhor partido das alternativas que conduzam a um desempenho ótimo das edificações ou de um modelo ideal para um estoque de edificações.

Figura 2: Possibilidades de uso de simulação computacional de edifícios nas fases de projeto



Extrapolando as fases projetuais, Walsh, Cóstola e Labaki (2017, 2018, 2019) relatam a aplicação da simulação computacional para construção e validação de zoneamentos climáticos para fins de eficiência energética dos edifícios. O uso da tecnologia também remete à condução de experimentos de análise do ciclo de vida das edificações, conforme demonstrado por Triana-Montes (2016).

Dada sua abrangência, a simulação do desempenho de edificações envolve a união entre múltiplas áreas do conhecimento, tais como a física, biofísica e a matemática; além das ciências dos materiais, comportamentais, ambientais e computacionais (HENSEN; LAMBERTS, 2019), bem como rende uma série de benefícios ao ambiente construído, aos setores da sociedade e à ciência. É o que veremos à sequência.

Sabemos, do capítulo primeiro, que prever o desempenho do edifício ainda em projeto é notoriamente mais econômico do que corrigir problemas quando este já está operando. Como resultado, tem-se um estoque de edifícios mais sustentável, eficiente e confortável aos usuários. Frente ao exposto, empreendedores e empresários dispõem de argumentos fiáveis para atrair clientes, angariar incentivos financeiros, divulgar e melhorar a imagem da empresa. O mesmo

vale para o setor público. Se as edificações projetadas com uso de simulação consomem menos energia quando comparadas àquelas que não a utilizaram, então os recursos salvaguardados poderão ser destinados a outras áreas, como saúde, educação, segurança, moradia, transporte, programas sociais etc., essenciais tanto à União quanto à população.

No que tange aos profissionais, a simulação computacional é um diferencial que agrega valor aos projetos, entendimento dos impactos de cada variável no desempenho da edificação e argumentos consistentes durante a tomada de decisões. Quando a parte interessada são aqueles que comercializam edifícios projetados com o uso de simulação, tem-se o aumento da satisfação dos inquilinos ou compradores e a valorização dos empreendimentos. Do ponto de vista dos moradores/usuários destas edificações, há garantias de melhores níveis de eficiência energética e conforto térmico, aumento da produtividade no desempenho de tarefas diárias ou prestação de serviços, maior proveito na saúde dos indivíduos e melhor controle das condições climáticas internas.

Com relação à ciência, a aplicação da tecnologia fomenta novas linhas de pesquisa e a interdisciplinaridade entre às áreas do conhecimento, vide o panorama apresentado no decorrer desta seção. Além disso, o uso de simulação estimula o surgimento de novos pesquisadores, contribui para o enriquecimento intelectual de seus usuários e favorece o progresso acadêmico e tecnológico das instituições de ensino e laboratórios de análise de edificações

Enfim, há ainda muitos outros exemplos abarcados na literatura de vantagens derivadas da aplicação da simulação do desempenho de edifícios. Mas, em que pese as benesses, o leitor deve ter em mente que, nem sempre, a ferramenta será o recurso mais adequado para solucionar determinados problemas. Outrossim, os mecanismos computacionais de simulação possuem algumas limitações que, se desconhecidas ou negligenciadas, podem comprometer a qualidade e confiabilidade dos resultados pós-simulação.

No início deste capítulo, vimos que a simulação é uma abstração da realidade. Também vimos que há uma série de variáveis e modelos envolvidos nas análises do desempenho dos edifícios. Como qualquer tentativa humana de representação do mundo tangível, os modelos utilizados nos cálculos possuem idealizações e simplificações⁹. Somado a estes fatores, tem-se as incertezas inerentes aos programas computacionais de simulação, comumente validados por meio de pequenos experimentos. Além disso, para simular um edifício é necessário predefinir

⁹ Caro leitor, as simplificações fazem-se necessárias para que um modelo não se torne excessivamente complexo. De acordo com Augenbroe (2011), há um ponto de equilíbrio a ser observado: o modelo deve ser simples, capaz de atender às expectativas dos usuários e exprimir o comportamento da edificação com um bom nível de precisão.

uma hipótese de projeto, a qual varia conforme a tipologia arquitetônica escolhida, os sistemas de AVAC, as rotinas dos usuários etc. Segundo Aude, Tabary e Depecker (2000), esse conjunto de parâmetros agrega incertezas e, conseqüentemente, propaga a suscetibilidade de erros nos resultados da simulação computacional termoenergética.

Não é esperável, portanto, que a edificação comporte-se exatamente como o seu modelo prediz. Requer-se do simulador a capacidade de comparar os resultados das simulações com os dados verificáveis na realidade, já que as suposições relativas à operação do edifício poderão não se concretizar na prática (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Mas veja, os aspectos enunciados foram uma admoestação apenas, não materializando uma restrição à aplicação da simulação. Há, contudo, alguns fatores que podem, realmente, inviabilizar seu uso.

Um exemplo são os arquivos climáticos (*inputs*) utilizados na simulação do desempenho de uma edificação. A depender da região em que se localiza a edificação objeto de análise, estes dados nem sempre estão disponíveis, tampouco são representativos da realidade climática local (WALSH-GARCÍA, 2017). Replica-se esta hipótese aos demais parâmetros de entrada cruciais à simulação, em especial às variáveis aleatórias que atuam no comportamento das edificações. Nessas circunstâncias, a indisponibilidade / baixa qualidade de qualquer informação essencial torna-se um potencial impeditivo¹⁰ à execução adequada da simulação.

Também existem casos em que a simulação computacional pode ser dispensada. Nesse sentido, Banks e Gibson (1997) acreditam que a tecnologia não é necessária em situações cujo problema é de senso comum (facilmente solucionável); quando é mais fácil ou financeiramente mais viável realizar experimentos diretamente no objeto de análise; se há indisponibilidade de recursos (além de informações, mão-de-obra capacitada, tempo etc.) para realização do projeto; se as expectativas não puderem ser atingidas ou tratar-se de um problema demasiado complexo.

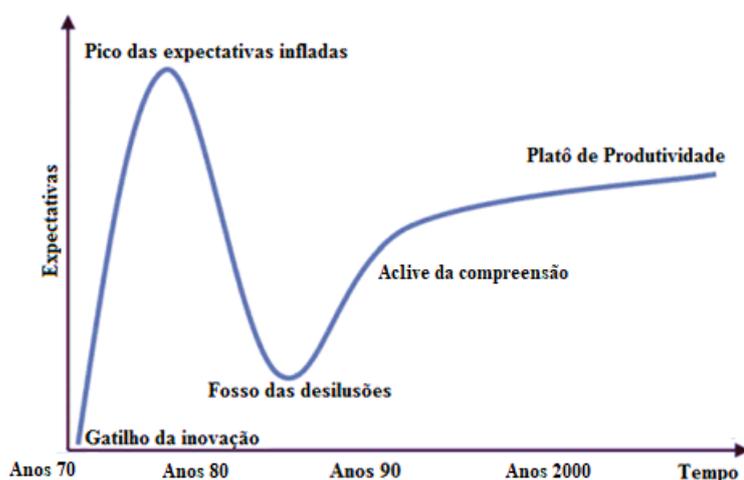
Por fim, muito embora possa haver algum ônus, fato é que a simulação de edificações é uma poderosa ferramenta do mundo moderno, de um arcabouço versátil e completo, capaz de atender a diferentes necessidades e públicos. O sucesso da tecnologia é resultado de décadas de trabalho e pesquisas (e, por que não, de insistência das partes interessadas). Para finalizar este capítulo, portanto, vamos aprender um pouco sobre as origens da simulação do desempenho de edifícios e as fases que o mecanismo atravessou até sua consolidação.

¹⁰ Nesses casos e, se possível, devem ser realizadas simplificações, como a coleta de dados em localidades próximas ou de características similares ou, ainda, adotar suposições de projeto.

2.2 UM BREVE HISTÓRICO

A história da simulação computacional termoenergética pode ser melhor compreendida ao visualizar seu “*hype cycle*” (Figura 3). Embora não tenha uma tradução literal ao português, o termo de língua inglesa remete à representação gráfica dos estágios do ciclo de vida de uma tecnologia. De acordo com Fenn e Raskino (2008), este ciclo divide-se em cinco fases, a saber: (i) gatilho da inovação, (ii) pico das expectativas angariadas em torno da novidade, (iii) fosso das desilusões, (iv) aclave do entendimento e (v) platô de produtividade.

Figura 3: *Hype cycle* da simulação computacional termoenergética



Fonte: Adaptado de Hensen e Lamberts (2011)

O uso de simulação termoenergética em computadores digitais remete a meados dos anos de 1960, conforme relata Clarke (2007), com grande parte do trabalho inicial voltado ao cálculo das cargas térmicas para aquecimento e resfriamento dos ambientes e na análise do consumo de energia das edificações. Apesar disso, Hensen e Lamberts (2011) apontam que o “gatilho” de interesse na inovação ocorrera somente nos anos 70.

Nessa época, o mundo atravessava a crise do petróleo. Os países que mais dependiam do combustível fóssil e de seus derivados foram os principais afetados, em especial a matriz energética dos Estados Unidos. Diante disso, o país buscou por soluções para o enfrentamento da crise, dentre as quais estavam o incentivo à promoção de ações e programas que visavam a eficiência energética de equipamentos elétricos, veículos e edificações (MENDES *et al.*, 2005).

Em um primeiro momento, a simulação computacional termoenergética mostrou-se um avanço tecnológico de grande potencial, despertando interesse tanto de pesquisadores quanto do setor privado empresarial. Com isso, foram “infladas” – naturalmente – as expectativas em torno da ferramenta, até que no ano de 1977 criou-se o *Department of Energy* (DOE), órgão governamental norte americano que tinha por objetivo reorganizar e desenvolver estratégias de eficiência energética (KUBO, 2017). O DOE passou então a coordenar políticas e programas de conservação de energia, estabelecendo então um plano nacional de energia. Desta iniciativa, surgiram muitos programas computacionais de simulação do desempenho de edifícios.

O interesse das partes manteve-se ascendente até o início dos anos 80 mas, à medida que as expectativas dos envolvidos não eram atingidas, os desapontamentos com a tecnologia tornaram-se mais constantes e crescentes neste período (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Em 1986, ápice do fosso das desilusões, emerge a *International Building Performance Simulation Association* (IBPSA), organização internacional sem fins lucrativos que desempenhou um papel fundamental para estabelecer um melhor entendimento^{11,12} acerca da simulação e, novamente, guinar o interesse de pesquisadores e do setor empresarial.

Mas foi somente a partir de 1990 que a simulação popularizou-se entre engenheiros e arquitetos. Mara e Tarantola (2008) citam que o incremento na capacidade de processamento de dados e a redução dos custos para aquisição de computadores ocorridos nesta década foram fatores decisivos para propagação dos mecanismos computacionais e, em decorrência, refletiu-se na disseminação de programas assistidos por computador para simulação do desempenho das edificações.

Com início do milênio, a simulação computacional termoenergética finalmente atinge o “platô¹³” de produtividade, fase associada à estabilidade e consolidação de uma tecnologia. De acordo com Hensen e Lamberts (2011), a estabilidade decorre da compreensão do escopo de aplicações e limitações das ferramentas de simulação, enquanto que a consolidação é expressa pela aceitação e confiança por parte daqueles para os quais foi desenvolvida.

¹¹ No *hype cycle*, a fase do entendimento marca a ruptura das elevadas expectativas com o declínio do interesse gerado em torno da tecnologia. Desta quebra restam apenas os adeptos mais conscientes que, de fato, entenderam os limites, os benefícios e os mecanismos necessários para aprimorá-la (FENN; RASKINO, 2008).

¹² A origem da IBPSA é um marco no auge do entendimento. Dentre suas principais metas estava a conscientização das potencialidades e limitações dos mecanismos de simulação computacional termoenergética, prevenindo, desde então, o ressurgimento de um pico de expectativas infladas ou de um novo fosso de desilusões (CLARKE, 2015).

¹³ O termo platô é próprio da Engenharia Mecânica e refere-se ao disco que integra o dispositivo responsável pela transmissão da força do motor às rodas de tração (MICHAELIS, 2015). Metaforicamente, no *hype cycle*, representa a constância adquirida pela tecnologia frente ao público interessado.

Desde então, os mecanismos de análise de energia dos edifícios vêm se modernizando e, cada vez mais, novos programas têm sido desenvolvidos, fruto de parcerias entre as esferas do DOE, universidades e da retroalimentação dos usuários dos programas computacionais de simulação termoenergética (DOE, 2020). Entre os exemplares, destacam-se: *BLAST*, *BSim*, *DeST*, *DOE-2.1E*, *ECOTECH*, *Ener-Win*, *Energy Express*, *Energy-10*, *EnergyPlus*, *eQUEST*, *ESP-r*, *Green Building Studio*, *IDA ICE*, *HAP*, *HEED*, *OpenStudio*, *PowerDomus*, *SUNREL*, *Tas*, *TRACE* e *TRNSYS* (CRAWLEY *et al.*, 2008; CAVALCANTE, 2010; PEREIRA *et al.*, 2013; DOE, 2020).

Conforme evidenciado na abertura deste manual, boa parte do treinamento prático para iniciantes será demonstrado no *software EnergyPlus™* (ENERGYPLUS, 2020), um programa computacional de simulação do desempenho de edifícios. Atréadas à escolha deste mecanismo estão vantagens como sua estrutura modular, eficácia atestada por organizações de relevância internacional (ASHRAE, 2017), constantes atualizações e aperfeiçoamento de *software*. Esses, aliás, são apenas alguns dos benefícios carreados pelo uso do *EnergyPlus™*.

CAPÍTULO TERCEIRO

O ENERGYPLUS™

O *EnergyPlus*™ tem suas raízes nos programas BLAST e DOE-2, desenvolvidos no final dos anos de 1970 e início dos anos 80 como ferramentas de simulação de energia e carga térmica. A origem de ambos remete às preocupações oriundas da crise energética que abateu os Estados Unidos na década de 70, como forma de reconhecer a importância desempenhada pelo componente consumo nas estatísticas de uso de energia (DOE, 2020a).

O público-alvo do BLAST e DOE-2 eram os projetistas que desejavam dimensionar equipamentos AVAC, desenvolver estudos de *retrofit*, avaliar custos e otimizar o desempenho das edificações. Embora provenientes de perspectivas ligeiramente distintas, os dois programas tentaram resolver a um mesmo problema, tiveram seus méritos e deficiências, apoiadores e detratores, e conquistaram sólidas bases de usuários a nível global (DOE, 2020a).

A partir do BLAST e DOE-2 é criado o *EnergyPlus*™, um programa computacional desenvolvido pelo *Building Technologies Office* (BTO) – agência vinculada ao DOE – em parceria com o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL¹⁴) e com outros laboratórios do DOE, instituições acadêmicas e empresas do setor privado (NREL, 2020).

Analogamente a seus precursores, o *EnergyPlus*™ é um *software* de simulação de carga térmica e análise de energia. Com base na descrição do usuário da perspectiva da composição física da edificação e de seus sistemas, o programa é capaz de calcular o consumo de energia do edifício e as cargas de aquecimento e arrefecimento necessárias para controle térmico dos ambientes (CRAWLEY *et al.*, 2008).

Em outras palavras, o *EnergyPlus*™ pode ser entendido como um modelo que concilia as formulações físicas, térmicas, mecânicas, ópticas e matemáticas necessárias para simular o desempenho termoenergético de uma edificação (e também outras variáveis) quando submetida às condições externas e internas que impactam neste desempenho.

Muitas das características originais do programa foram legados herdados do BLAST e DOE-2. Dentre os recursos da pioneira versão do *EnergyPlus*™, destacam-se: a interação entre as zonas térmicas e o meio e entre as zonas térmicas e os sistemas AVAC; soluções simultâneas

¹⁴ Atualmente, o *EnergyPlus*™ é mantido, gerenciado e atualizado pelo NREL.

que expressam o comportamento do edifício por processos iterativos; inserção de arquivos climáticos que incluem condições ambientais sub-horárias; soluções baseadas no método de balanço térmico; condução de calor transiente através dos elementos construtivos; modelo de transferência de calor no solo; modelo combinado de transferência de calor e massa; modelos de conforto térmico baseados em atividade e bulbo seco interno; cálculos de fenestração¹⁵, incluindo persianas controláveis, atribuição de energia solar absorvida pelos vidros e biblioteca para vários tipos de janelas; sistemas AVAC configuráveis pelo usuário etc. (DOE, 2020a).

Quanto às metas originais do *EnergyPlus*TM, estavam: eliminar as interconexões entre as seções do programa; realizar o cálculo de carga térmica e simulação dos sistemas de maneira integrada; ter estrutura modular, por meio de programação orientada a objetos, um diferencial em relação aos seus predecessores; unir desenvolvedores e pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, visando um *software* abrangente e inteligível aos usuários; possuir código aberto, distanciando-o do formato convencional de “caixa preta”; apresentar modelagem e simulação acoplados, a fim de permitir ao projetista melhor conhecer as respostas térmicas dos edifícios; e possibilitar análises da influência dos parâmetros de projeto, das alternativas e soluções mais eficientes, realizar o *retrofit* e alcançar níveis desejáveis de eficiência energética, de conforto ambiental e de qualidade do ar das edificações (DOE, 2020a).

Dentre as características enunciadas, Cavalcante (2010) destaca a estrutura modular e o algoritmo de domínio público, os quais permitem que usuários e pesquisadores independentes possam desenvolver os módulos do *EnergyPlus*TM, mesmo que não tenham proficiência no programa como um todo. Outrossim, a integração simultânea entre os modelos e eliminação das interconexões entre as seções são vantagens que conferem à ferramenta a capacidade de simular as mais variadas tipologias arquitetônicas, elementos construtivos e sistemas de AVAC (PEREIRA *et al.*, 2013).

Em vista destas potencialidades e se operado adequadamente, é esperado, de acordo com Rodrigues (2014), que as simulações no *EnergyPlus*TM representem de modo preciso o consumo energético verificado em edifícios reais. A expectativa do autor tem respaldo nas creditações¹⁶ realizadas em programas computacionais de simulação de edifícios, uma prática corrente em se tratando do *EnergyPlus*TM, visto que o programa é frequentemente avaliado por organizações, agências e laboratórios e, a cada nova versão, submetido a testes analíticos e comparativos.

¹⁵ Sistema de fenestração: aberturas (exemplo, janelas) de um edifício.

¹⁶ A realização de auditorias são fundamentais para aumentar a confiança nas análises de energia, uma vez que a aplicação de procedimentos padronizados possibilita tanto diagnosticar erros quanto aperfeiçoar toda uma geração de *softwares* de simulação do desempenho de edifícios.

Nesse sentido, destacam-se os procedimentos de controle de qualidade da ASHRAE¹⁷ *Standard 140* (ASHRAE, 2017), em que programas como o *Spawn* e *EnergyPlus*TM (ambos do DOE), *TRNSYS* (TESS), *Apache* (IES) e *CSE* (*Wrightsoft*), foram validados como ferramentas consistentes e capazes de fornecer resultados precisos a seus usuários. Ademais, o *software* é acreditado pelas análises de energia de edifícios promovidas pelo *Building Energy Simulation Test (BESTest)* e pela *International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme (IEA SHC)*.

De fato, o *EnergyPlus*TM é em um programa capaz de fornecer aos usuários resultados precisos do desempenho termoenergético das edificações. Mas como ele faz para calcular os parâmetros que expressam esse desempenho?

3.1 COMO O ENERGYPLUSTM FUNCIONA

Em resumo, o *EnergyPlus*TM integra vários módulos que trabalham em conjunto para calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar uma edificação, utilizando uma variedade de sistemas e fontes de energia (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009). Para tanto, o programa baseia-se no que o usuário descreve¹⁸ da edificação, simulando-a sob diferentes condições ambientais e operacionais.

A essência da simulação está no modelo que utiliza princípios fundamentais de balanço energético. Segundo Crawley *et al.* (2001), o *software* realiza cálculos numéricos baseados nos princípios de balanço de massa e energia (1ª Lei da termodinâmica) e possibilita simulações integradas de cargas térmicas e sistemas em regime transiente. De acordo com Cavalcante (2010), as três partes principais da simulação – edifício, sistema e planta – são solucionadas simultaneamente, o que proporciona resultados precisos do consumo de energia e predição de conforto térmico durante todo um ano.

Para fornecer os perfis de consumo de energia e temperatura do edifício, o *EnergyPlus*TM trabalha com alguns componentes básicos/módulos: um gerenciador de simulação (responsável

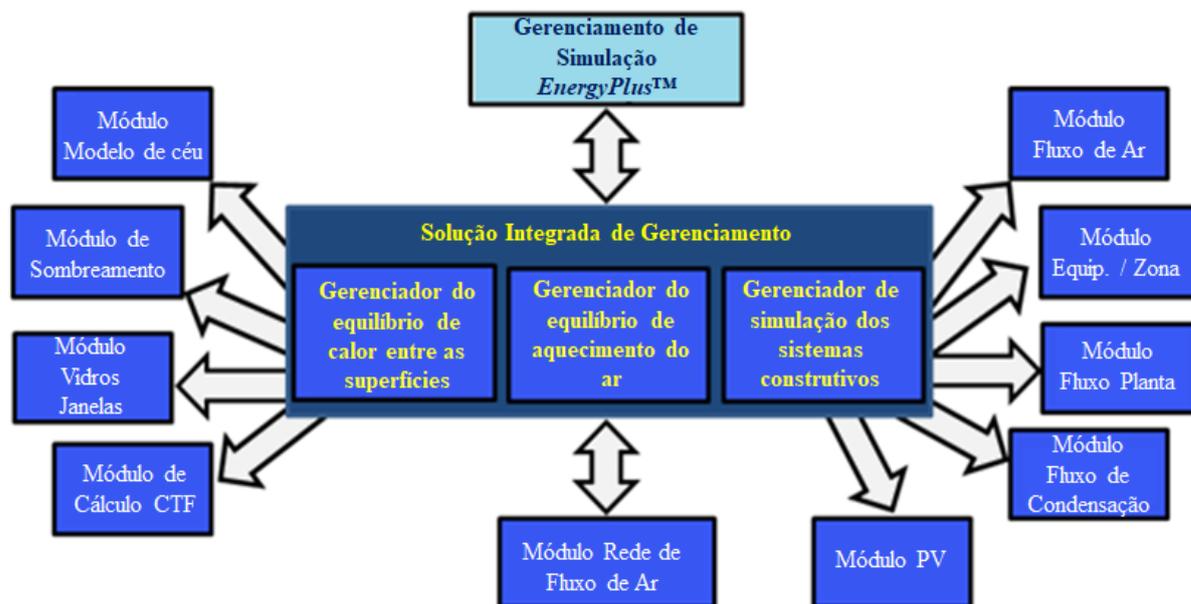
¹⁷ A *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) é uma associação profissional estadunidense que busca aprimorar o projeto e a construção de sistemas AVAC.

¹⁸ Rememore na Figura 1 os dados de entrada requisitados para “alimentar” os programas computacionais. Em sentido amplo, são os mesmos para o *EnergyPlus*TM e referem-se às informações climáticas regionais, a descrição arquitetônica e construtiva da edificação, as rotinas de uso e operação, a potência instalada em sistemas de iluminação, a carga dos equipamentos, as características dos sistemas de AVAC etc. (BARBOSA *et al.*, 2013).

por controlar todo o processo da simulação), um módulo de simulação de balanço de calor e massa e um módulo de simulação de sistemas prediais (DOE, 2020a).

O diagrama da Figura abaixo apresenta uma visão geral da integração entre os principais elementos da simulação no *software*.

Figura 4: Gerenciador de simulação e respectivos módulos do *EnergyPlus™*



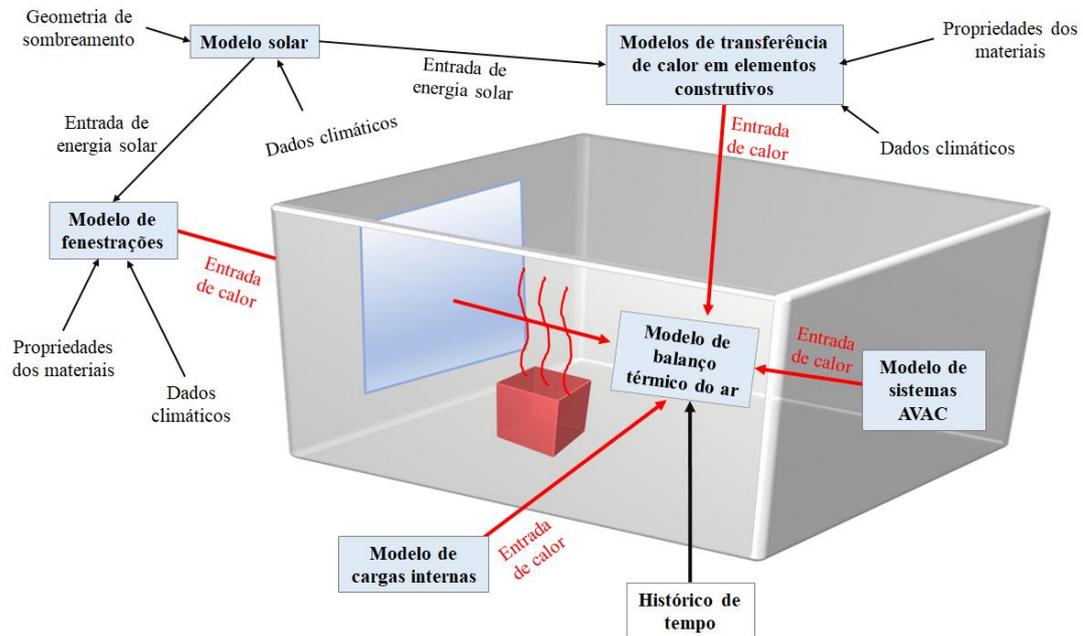
Fonte: Adaptado de DOE (2020a)

Há diferentes modelos matemáticos envolvidos nos cálculos, tais como modelos: solar; de fenestração; de cargas internas; de sistemas de AVAC e modelos de transferência de calor em elementos construtivos. Todos interagem entre si, trocam informações e variáveis dentro de passos de tempo determinados (*timesteps*) e, ao final, culminam no modelo de balanço térmico do ar, responsável por calcular parâmetros de interesse do simulador, como: a carga térmica de aquecimento e arrefecimento das edificações; o fluxo de calor nos componentes construtivos; o consumo de energia com os sistemas de AVAC e demais equipamentos; e as temperaturas superficiais (DOE, 2020a).

Para facilitar o entendimento dos modelos matemáticos englobados em uma simulação no *EnergyPlus™*, a Figura 5 ilustra um esquema para uma zona térmica¹⁹. Aliás, fez sentido agora a definição apresentada no quinto parágrafo do capítulo terceiro?

¹⁹ Zona térmica corresponde ao nome dado a um ambiente individual em um edifício.

Figura 5: Modelos matemáticos envolvidos no balanço térmico do ar em uma zona térmica



Conforme relatado, o *EnergyPlus*TM é de código aberto e está disponível sob uma licença permissiva. O código-fonte do programa está disponível para inspeção e revisão por quem de interesse, hospedado em: < www.github.com/NREL/EnergyPlus > e, atualmente, está em sua nona versão (*ENERGYPLUS*TM, 2020).

As várias intervenções resultaram em um ótimo programa computacional de simulação do desempenho de edificações. Apesar disso, conforme ressalta Rodrigues (2014), não possui uma interface gráfica amigável, o que pode ser frustrante aos clientes e usuários nos primeiros contatos com a ferramenta.

3.2 O OPENSTUDIO®

O sistema de modelagem dos aspectos físicos das edificações (paredes, tetos e aberturas) no *EnergyPlus*TM é por coordenadas cartesianas no espaço (DOE, 2020a), o que é pouco visual e intuitivo. Se realizada diretamente no ambiente nativo do *software*, a construção do modelo demanda extrema atenção e tempo do usuário. Para completar, sempre há o risco de cometer erros no decorrer do processo (os quais, evidentemente, aumentam à medida em que cresce o nível de complexidade da tipologia arquitetônica modelada).

Diante desta problemática, uma alternativa reconhecidamente facilitadora à modelagem da geometria para os aprendizes em simulação de edificações é o *OpenStudio*® (BRACKNEY *et al.*, 2018) que, assim como o *EnergyPlus*™ é um programa gratuito e de código aberto para análise de energia.

Desenvolvido pelo NREL em 2008, o *OpenStudio*® ficou conhecido por sua capacidade de integração com o *software SketchUp* (OPENSTUDIO, 2020). Essa associação torna-o muito útil à modelagem de informações da envoltória de maneira visual e intuitiva. Isso porque o *OpenStudio*® possui um *plugin*²⁰ que permite ao usuário utilizar as ferramentas do *SketchUp* (em seu ambiente de edição tridimensional) para criar superfícies e zonas térmicas e, ao final, exportar essas informações em arquivos cuja extensão é própria para o *EnergyPlus*™.

Também merece destaque o “padrão de construção” do *OpenStudio*®: à medida que o usuário desenha as superfícies, o programa converte-as automaticamente em elementos internos e externos de paredes, teto e telhados, janelas, portas etc. (VERSAGE; LAMBERTS, 2010). Nesse aspecto, o programa torna-se extremamente vantajoso em relação ao *EnergyPlus*™ para a modelagem de maneira mais eficiente, visto que no referido *software* esses elementos teriam de ser informados “manualmente” um a um.

Além disso, é possível no *OpenStudio*® configurar diversas outras variáveis de entrada que poderiam ser feitas diretamente no *EnergyPlus*™ (representadas por objetos ou até grupos de objetos), tais como inserção de dados climáticos, detalhamento e compatibilização de superfícies e subsuperfícies, grupos de sombreamento, caracterização das zonas térmicas, configuração das rotinas de uso e ocupação, de cargas térmicas e dos sistemas de AVAC, entre outras (BRACKNEY *et al.*, 2018).

Enfim, a abrangência do programa é imensa. De acordo com Guglielmetti, Macumber e Long (2011), todas essas características tornaram o *OpenStudio*® apreciado por engenheiros e arquitetos de todo o mundo para a modelagem de energia de edifícios.

Vamos, então, instalar essas ferramentas no computador? É o que veremos a seguir, em nosso primeiro roteiro de estudos práticos.

²⁰ Um *plugin* é um programa de computador “leve” utilizado para adicionar funções a outros *softwares* maiores, provendo alguma funcionalidade complementar ou específica.

ROTEIRO I-a

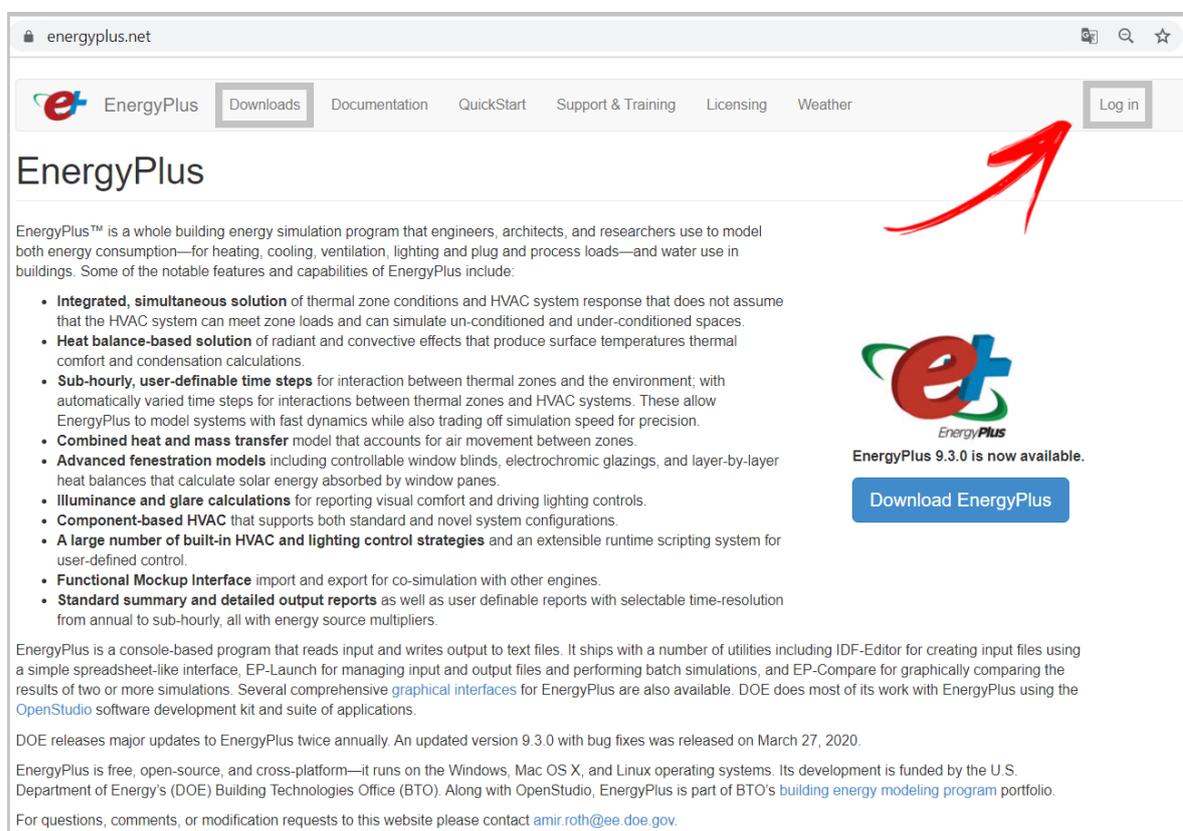
INSTALANDO O ENERGYPLUS™

Para baixar o *EnergyPlus*™, acesse <https://energyplus.net/>.

No *site* (Fig. 6) é possível encontrar diversas informações, tais como arquivos climáticos para vários países, grupo de suporte ao usuário, um guia de início rápido (*QuickStart*), no qual são apresentados resumos sobre o que é o programa, arquivos de exemplo para rodar uma simulação e algumas análises de resultados, os documentos de referência do *EnergyPlus*™ e as guias de *download* e *Log in*.

Para efetuar o *download* do instalador do programa, é recomendado estar logado em um perfil de usuário. Caso não tenha uma conta, clique em *Log in* e registre-se em *create new account*, inserindo nome de usuário, *e-mail* e senha.

Figura 6: página de abertura (*homepage*) do *site* <<https://energyplus.net/>>



energyplus.net

EnergyPlus Downloads Documentation QuickStart Support & Training Licensing Weather Log in

EnergyPlus

EnergyPlus™ is a whole building energy simulation program that engineers, architects, and researchers use to model both energy consumption—for heating, cooling, ventilation, lighting and plug and process loads—and water use in buildings. Some of the notable features and capabilities of EnergyPlus include:

- **Integrated, simultaneous solution** of thermal zone conditions and HVAC system response that does not assume that the HVAC system can meet zone loads and can simulate un-conditioned and under-conditioned spaces.
- **Heat balance-based solution** of radiant and convective effects that produce surface temperatures thermal comfort and condensation calculations.
- **Sub-hourly, user-definable time steps** for interaction between thermal zones and the environment; with automatically varied time steps for interactions between thermal zones and HVAC systems. These allow EnergyPlus to model systems with fast dynamics while also trading off simulation speed for precision.
- **Combined heat and mass transfer** model that accounts for air movement between zones.
- **Advanced fenestration models** including controllable window blinds, electrochromic glazings, and layer-by-layer heat balances that calculate solar energy absorbed by window panes.
- **Illuminance and glare calculations** for reporting visual comfort and driving lighting controls.
- **Component-based HVAC** that supports both standard and novel system configurations.
- **A large number of built-in HVAC and lighting control strategies** and an extensible runtime scripting system for user-defined control.
- **Functional Mockup Interface** import and export for co-simulation with other engines.
- **Standard summary and detailed output reports** as well as user definable reports with selectable time-resolution from annual to sub-hourly, all with energy source multipliers.

EnergyPlus is a console-based program that reads input and writes output to text files. It ships with a number of utilities including IDF-Editor for creating input files using a simple spreadsheet-like interface, EP-Launch for managing input and output files and performing batch simulations, and EP-Compare for graphically comparing the results of two or more simulations. Several comprehensive [graphical interfaces](#) for EnergyPlus are also available. DOE does most of its work with EnergyPlus using the [OpenStudio](#) software development kit and suite of applications.

DOE releases major updates to EnergyPlus twice annually. An updated version 9.3.0 with bug fixes was released on March 27, 2020.

EnergyPlus is free, open-source, and cross-platform—it runs on the Windows, Mac OS X, and Linux operating systems. Its development is funded by the U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO). Along with OpenStudio, EnergyPlus is part of BTO's [building energy modeling program](#) portfolio.

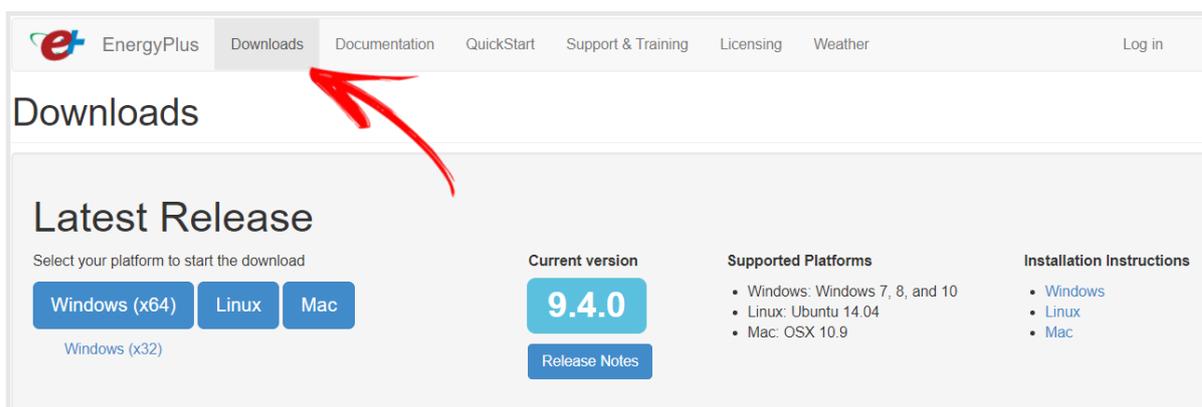
For questions, comments, or modification requests to this website please contact amir.roth@ee.doe.gov.

EnergyPlus 9.3.0 is now available.
[Download EnergyPlus](#)

Fonte: <<https://energyplus.net/>>

Acesse sua conta e, então, retorne à seção de *downloads* para baixar o instalador do programa. Observe que as plataformas suportadas pelo programa são *Windows 7, 8 e 10, Linux Ubuntu* e *Mac OSX* (Figura 7). O usuário deverá realizar o *download* da versão compatível ao seu sistema operacional.

Figura 7: *EnergyPlus™* seção de *downloads*, disponível em: <<https://energyplus.net/>>



Fonte: <<https://energyplus.net/>>

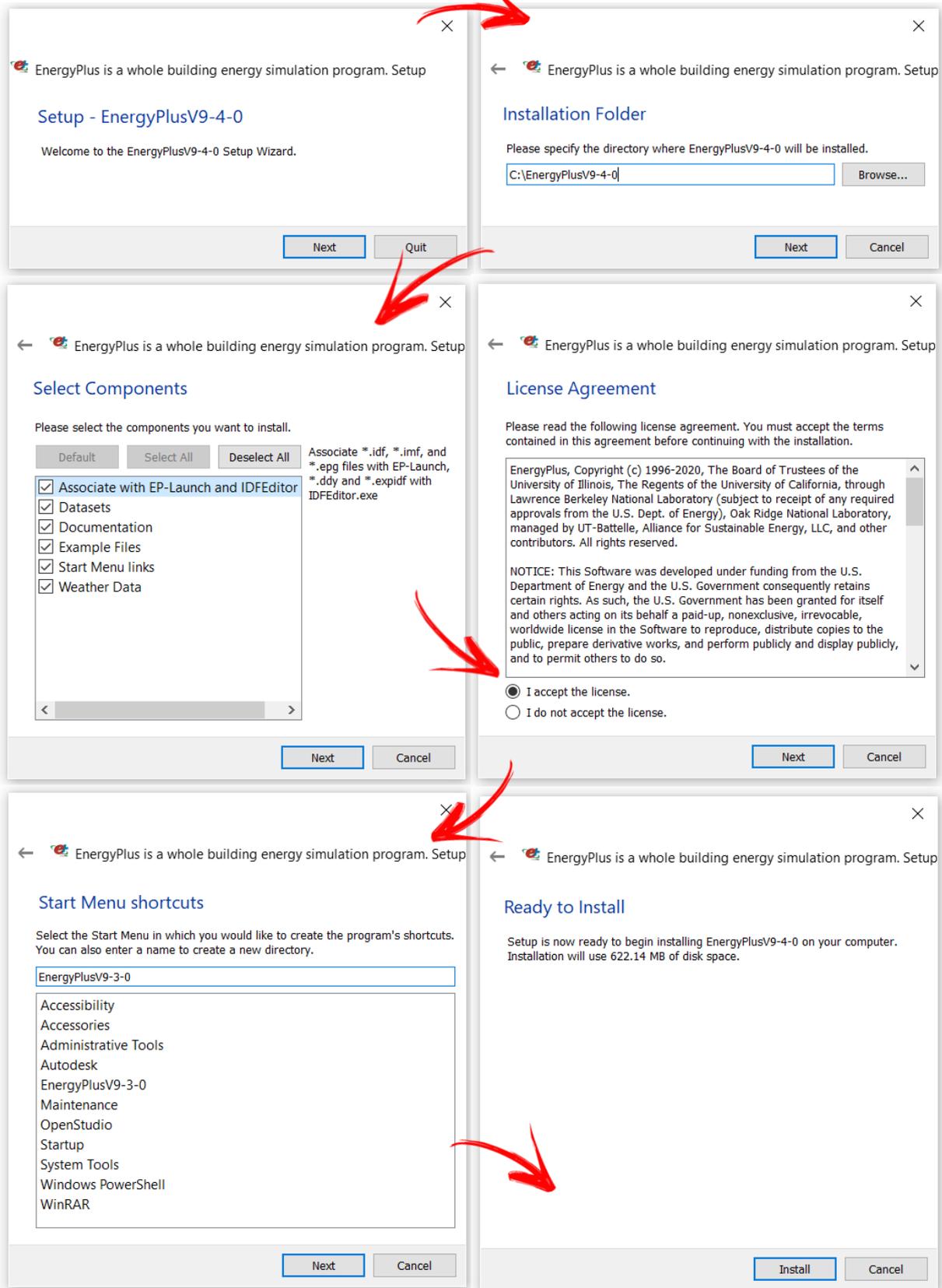


ATENÇÃO!!! Alguns caracteres não são reconhecidos pelo *EnergyPlus™*, tais como acentos, aspas, cedilha etc., resultando em erros após a instalação. Logo, recomenda-se, antes de prosseguir com a instalação do programa, observar o modo como está configurada sua conta de usuário. Caso seu perfil possua um destes caracteres, será necessário criar um novo de acordo com seu sistema operacional. Usuários de *Windows*, por exemplo, podem obter mais informações sobre o gerenciamento de contas em <https://support.microsoft.com/pt-br/>.

Uma vez baixado, execute o instalador. A Figura 8 apresenta as etapas para instalação do *EnergyPlus™* no *Windows 10*, sequenciadas de cima para baixo, da esquerda para a direita. Note que é possível configurar a instalação conforme suas preferências.

Diante disso, recomendamos utilizar o disco “(C:)” como caminho de instalação do programa, uma vez que a unidade de disco sólido (SSD) do computador é mapeada na unidade C. Logo, a troca de informações entre o SSD e o *EnergyPlus™* será mais rápida. Para a seleção de componentes, recomendamos a instalação de todos. Ademais, o usuário deverá ler os termos da licença do programa e só então, confirmar a instalação e aguardar o processo.

Figura 8: Exemplo dos passos a serem seguidos para instalação do *EnergyPlus*TM no *Windows 10*



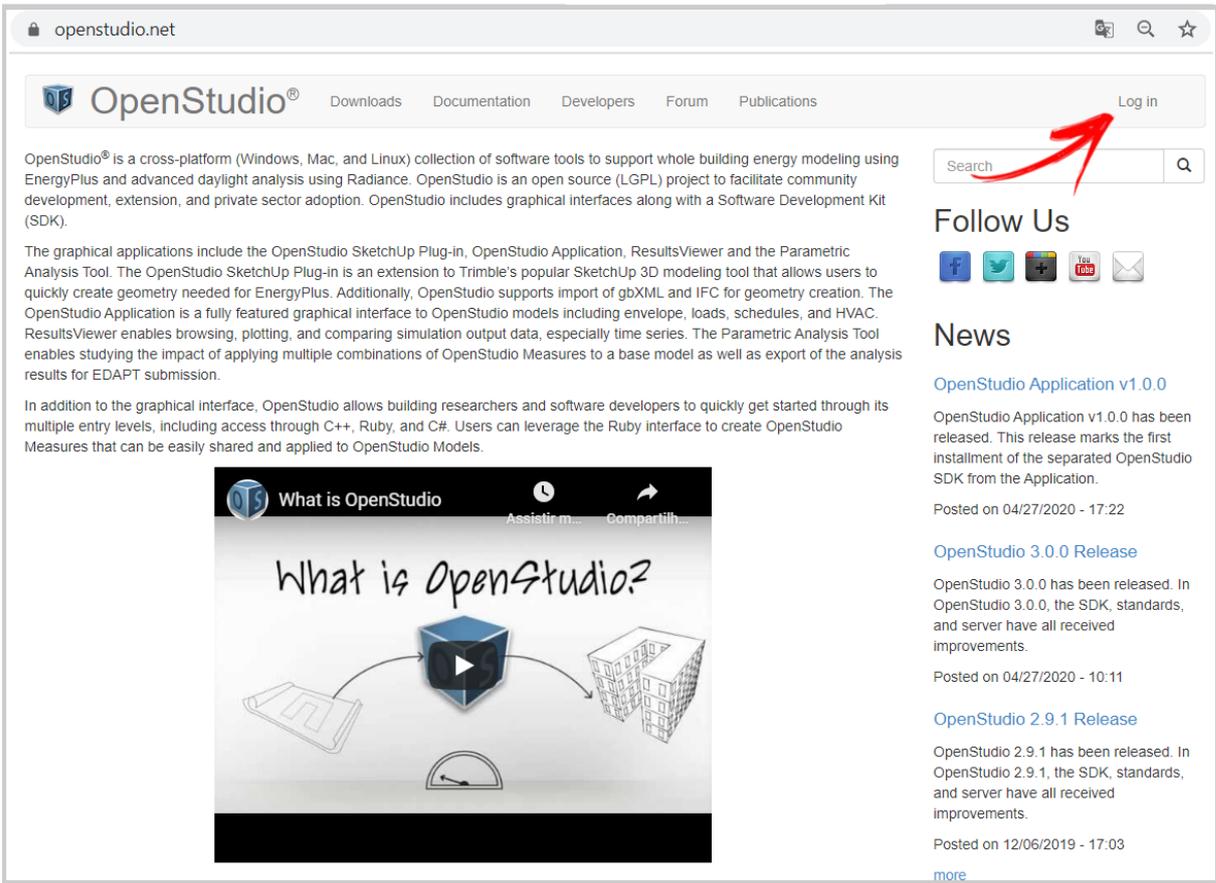
ROTEIRO I-b

INSTALANDO O OPENSTUDIO®

O *OpenStudio*® é gratuito e pode ser baixado em <https://www.openstudio.net/>.

O *site* possui seções similares ao site do *EnergyPlus*™, com uma breve descrição sobre o que é o programa, documentações de referência, tutoriais, fóruns e grupos para discussões e a seção de *downloads*. A Figura 9 apresenta a página de abertura do *OpenStudio*®.

Figura 9: homepage do site < <https://www.openstudio.net/> >



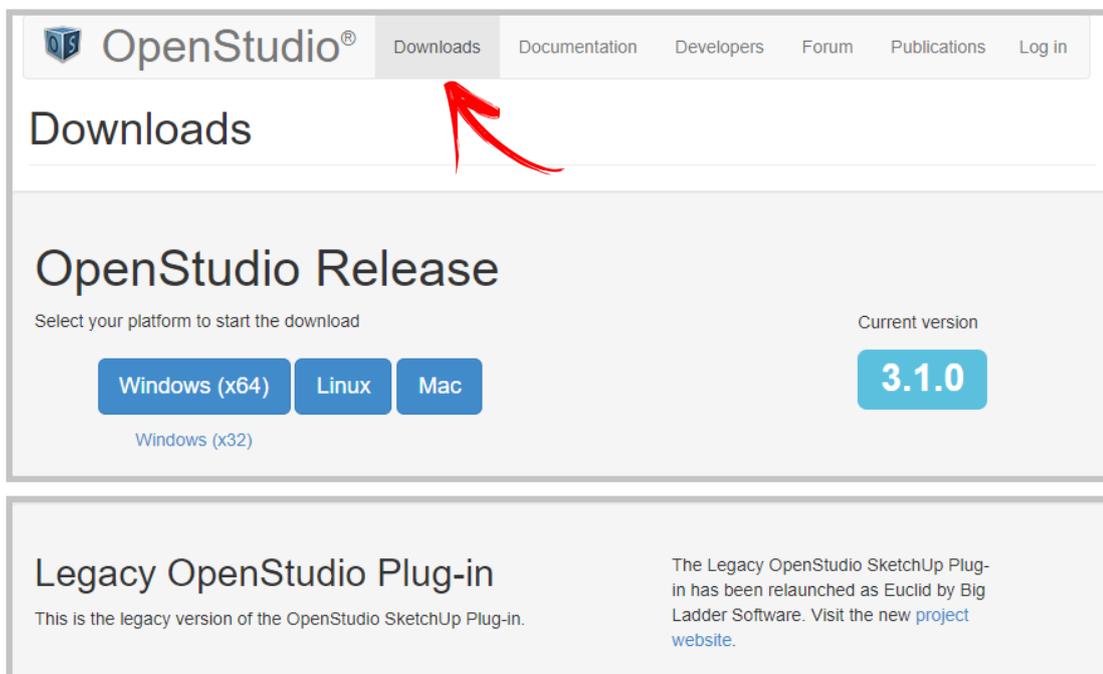
The screenshot shows the OpenStudio website homepage. At the top, there is a navigation bar with the OpenStudio logo and links for Downloads, Documentation, Developers, Forum, and Publications. A search bar is located on the right side of the navigation bar, with a red arrow pointing to it. Below the navigation bar, the main content area is divided into several sections. On the left, there is a text block describing OpenStudio as a cross-platform collection of software tools for building energy modeling. In the center, there is a video player titled "What is OpenStudio?" with a play button icon. On the right, there is a "Follow Us" section with social media icons for Facebook, Twitter, YouTube, and Email. Below that, there is a "News" section with three recent releases: "OpenStudio Application v1.0.0", "OpenStudio 3.0.0 Release", and "OpenStudio 2.9.1 Release".

Fonte: < <https://www.openstudio.net/> >

O *OpenStudio*® compartilha o mesmo *login* de usuário e senha da conta de acesso do *EnergyPlus*™. Assim sendo, basta clicar em *Log in* e selecionar *Login with EnergyPlus*™. Uma nova guia irá se abrir automaticamente em seu navegador. Insira os dados de entrada para ser

redirecionado à página de *downloads* (Figura 10). Baixe o instalador do programa de acordo com seu sistema operacional: *Windows*, *Mac* ou *Linux*.

Figura 10: Seção *downloads* do *OpenStudio*®, disponível em <<https://www.openstudio.net/>>



Fonte: < <https://www.openstudio.net/> >

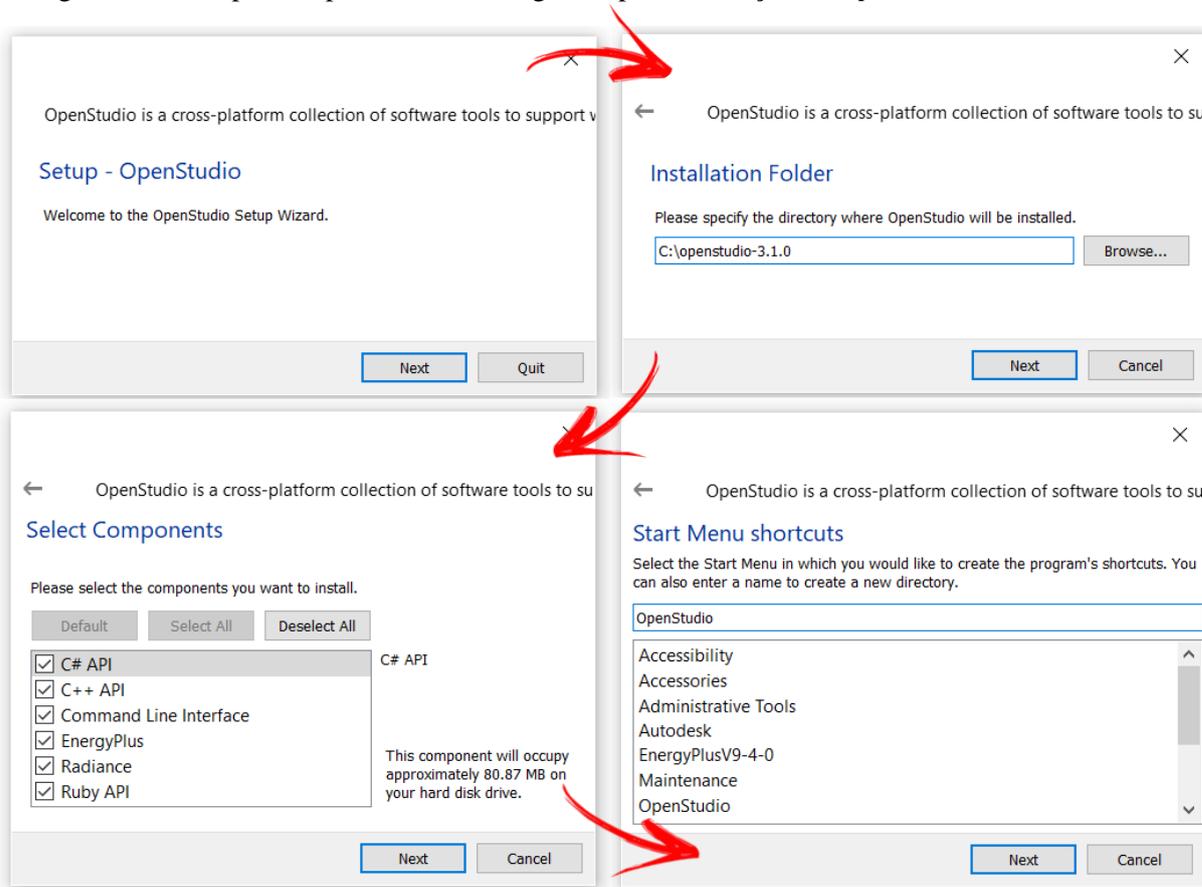
ATENÇÃO!!! Para utilizar o *plugin* do *OpenStudio*® para *SketchUp*, primeiro é necessário que o programa *SketchUp* já esteja instalado em seu computador, pelo menos na versão 2017, admitindo-se a versão gratuita do “*SketchUp Make*”. Caso ainda não tenha o programa instalado, acesse <https://www.sketchup.com/> para realizar o *download*. O mesmo vale para aqueles que pretendem utilizar o *Euclid* (versão legacy *OpenStudio SketchUp Plug-in*).



Uma vez concluído o *download*, inicie o instalador com um clique (caso necessário, execute como administrador). A Figura 11 mostra o passo-a-passo para *Windows 10*, de cima para baixo, da esquerda para a direita.

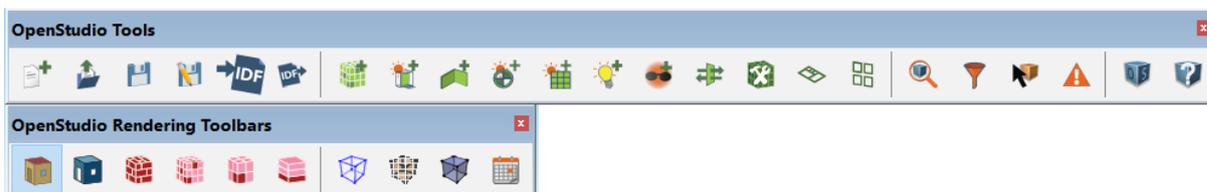
Note que é possível configurar a instalação conforme suas preferências. Analogamente ao descrito na Seção anterior para instalação do *EnergyPlus*™, recomenda-se utilizar o disco “(C:)” como caminho de instalação do *OpenStudio*® e na seleção de componentes, assinalar todos. Clique em instalar e aguarde o processo.

Figura 11: Exemplo dos passos a serem seguidos para instalação do *OpenStudio®* no *Windows 10*



Após instalado o *OpenStudio®*, abra o programa *SketchUp* e aguarde o carregamento das ferramentas para modelagem de energia (ilustradas na Figura 12), o que deverá ocorrer de maneira automática.

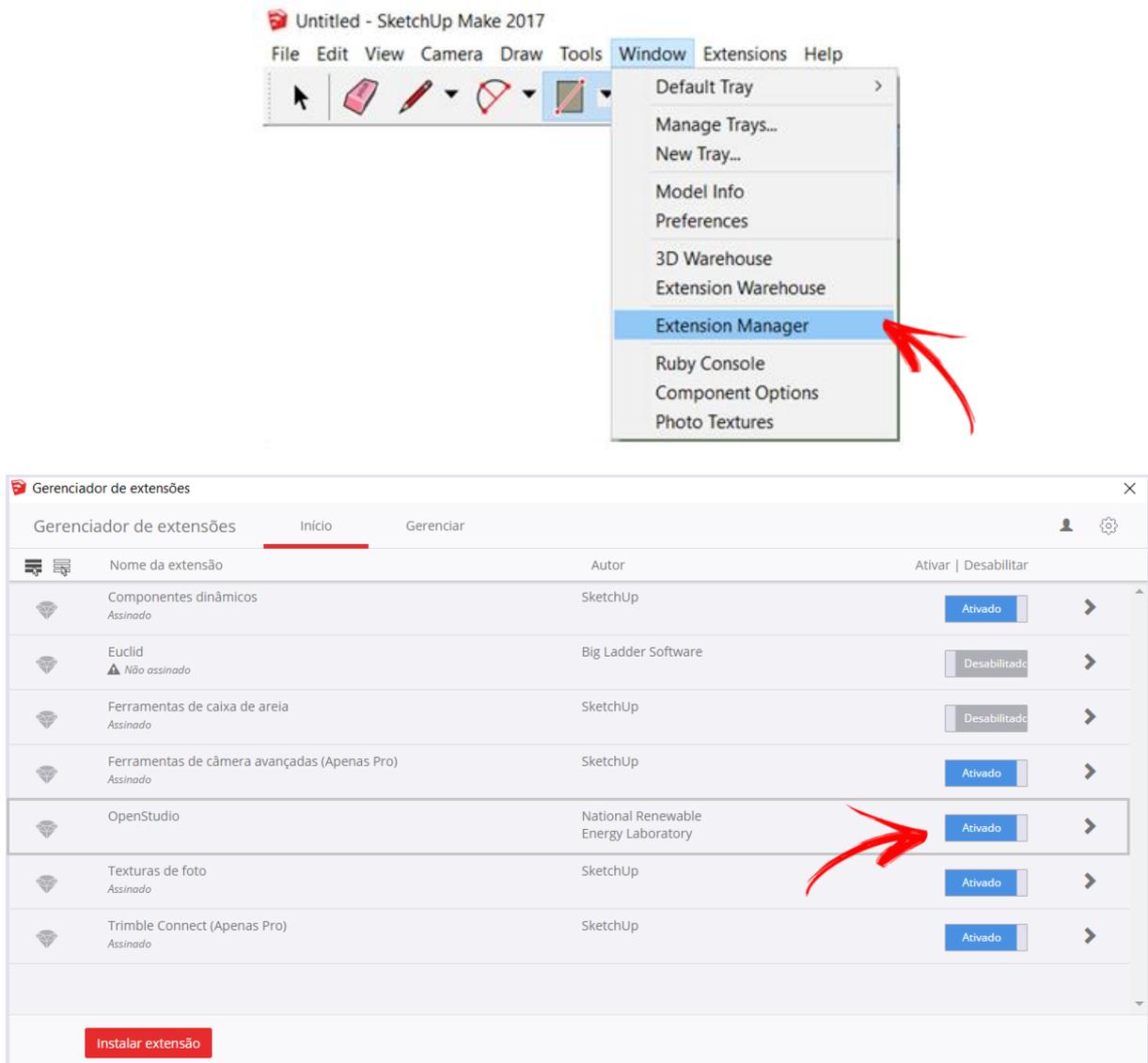
Figura 12: Barras de ferramentas do *OpenStudio®* plugin para *SketchUp*



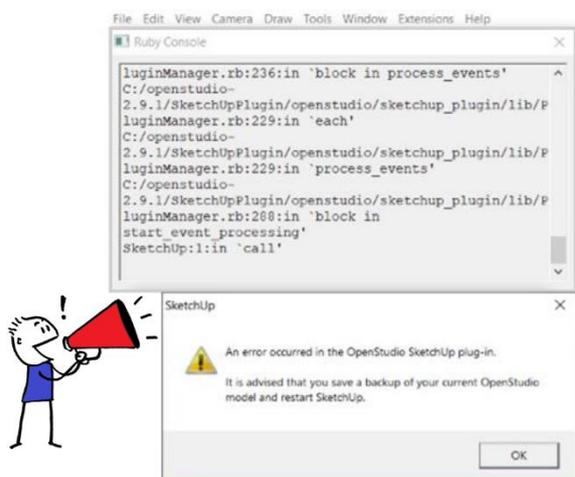


DICA!!! Caso não apareçam de imediato na área de trabalho do *SketchUp*, é possível acessá-las na guia “Janela” ou *Window* (para aqueles que possuem a versão em língua inglesa), clicando em Gerenciador de extensões (ou *Extension Manager*) e habilitando o *plugin* do *OpenStudio*®, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13: Ativando as funcionalidades do *OpenStudio*® *plugin* para *SketchUp*



Após ativado, as barras de ferramentas do *OpenStudio*® (Figura 12) deverão aparecer em sua tela no *SketchUp*. Com relação às funcionalidades de cada ferramenta, informa-se que estas serão abordadas no decorrer deste Manual.



ATENÇÃO!!! Para evitar erros, é aconselhável que a instalação do *EnergyPlus*TM e *OpenStudio*[®] aconteça seguindo a ordem descrita nos roteiros. Recomenda-se também a verificação prévia da compatibilidade entre as versões de cada ferramenta. O erro ao lado ilustrado, por exemplo, decorre de incompatibilidades entre as versões do *OpenStudio*[®] com o *SketchUp*. Neste caso, desinstale ambos programas e reinicie o processo do zero. Ademais, sempre baixe os instaladores nos *sites* oficiais de cada programa computacional, conforme os *links* disponibilizados nos roteiros.

Alguns usuários têm instalado a extensão do *Legacy OpenStudio*[®], chamado *Euclid*, que também é um *plugin* para *SketchUp* com funcionalidades muito similares ao *plugin* do *OpenStudio*[®]. O link <https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/> hospeda todas as versões do *Euclid*, bem como demais informações acerca desta ferramenta.

Sem embargo, salienta-se que os roteiros deste Manual foram construídos com base no uso do *OpenStudio*[®] em conjunto com o *EnergyPlus*TM, de modo que os usuários que desejarem utilizar o *Euclid* deverão acessar o referido *site* a fim de obterem maiores informações sobre a ferramenta computacional.

OBSERVAÇÃO!!! Tanto o *OpenStudio*[®] quanto o *EnergyPlus*TM são atualizados, em geral, de seis em seis meses. Com base no exposto, as informações aqui apresentadas tiveram a função de orientá-lo na instalação dos referidos programas e conduzir-lhe às fontes originais: *sites* oficiais e documentos de referência atualizados de acordo com as versões mais recentes dos *softwares*.



Por fim, observe que ao instalar o *EnergyPlus*TM em seu computador, alguns programas auxiliares também foram instalados (*EP-Launch*, *Weather Statistics and Conversions*, *IDF Version Updater*, *EPDraw* etc.). Com relação a esses aplicativos, informamos que os próximos Roteiros deste manual abordarão o modo de uso e a funcionalidade de cada um (e ainda outros programas adicionais) conforme forem aplicáveis ao conteúdo do Roteiro em questão.

Agora que você foi bem sucedido na instalação dos programas, é hora de lembrarmos um pouco dos conteúdos do módulo e, em seguida, aprender a analisar os dados de clima.

AGORA É COM VOCÊ

~~~~~  
**É hora de praticar!!!** Responda, com suas palavras, as questões<sup>21</sup> abaixo:



- ~~~~~
- 1) O que é a simulação computacional do desempenho de edifícios?
  - 2) Onde é aplicada a simulação computacional termoenergética?
  - 3) E quais as principais vantagens de sua aplicação?
  - 4) Com base no que você estudou no decorrer do módulo, como você definiria um programa computacional de simulação do desempenho de edifícios?

---

<sup>21</sup> Uma dica de memorização: PRIMEIRO responda as perguntas em sua mente como se fossem “flashcards”, DEPOIS escreva as respostas e, SÓ ENTÃO, confira o gabarito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575 - Edificações habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

AIA. American Institute of Architects. Disponível em: < <https://www.aia.org/> >. Acesso em: 21/03/2020.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. **Standard 140 - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer**. Atlanta, Estados Unidos, 2017.

AUDE, P.; TABARY, L.; DEPECKER, P. Sensitivity analysis and validation of buildings' thermal models using adjoint-code method. **Energy and Buildings**, v. 31, 2000.

AUGENBROE, G. Trends in Building Simulation. **Building and Environment**, v. 37, n. 8/9, p. 891-902, 2002.

AUGENBROE, G. The role of simulation in performance-based design. In: HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. New York: Spon Press, 2011. p. 15 – 36.

AYRES, R. U.; AYRES, E. H. **Cruzando a Fronteira da Energia: dos combustíveis fósseis para um futuro de energia limpa**. Bookman, 2012.

AYRES, R. U. *et al.* The underestimated contribution of energy to economic growth. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 27, p. 79-88, 2013.

BANKS, J.; GIBSON, R. Don't simulate when: Ten Rules for determining when simulation is not appropriate. **Industrial Engineering Solutions**, v. 29, p. 30-33, 1997.

BARBOSA, S. A. *et al.* Método de utilização do programa Energyplus para verificação de desempenho térmico de ambientes com fachadas duplas. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 121-134, 2013.

BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82-91, 2014.

BRACKNEY, L. *et al.* **Building Energy Modeling with OpenStudio - A Practical Guide for Students and Professionals**. Cham: Springer, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 372, de 17 de Setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Brasília: EPE, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Brasília: EPE, 2019.

CAMELO, Susana *et al.* Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – Manual de apoio à aplicação do RCCTE. **INETI**, Lisboa, 2006.

CAVALCANTE, R. C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CLARKE, J. **Energy simulation in building design**. 2 ed. London: Routledge, 2007.

CLARKE, J. A vision for building performance simulation: a position paper prepared on behalf of the IBPSA Board. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 8, n. 2, p. 39-43, 2015.

CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and buildings**, v. 33, n. 4, p. 319-331, 2001.

CRAWLEY, D. B. *et al.* Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and environment**, v. 43, n. 4, p. 661-673, 2008.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: < <http://www.energy.gov/> >. Acesso em: 30/03/2020.

DOE. U. S. Department of Energy. **Getting Started – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020a.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020b.

DOE. U. S. Department of Energy. **Engineering reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020c.

DOE. U. S. Department of Energy. **EnergyPlus Essentials – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020d.

ENERGYPLUS. Testing and Validation. Disponível em: < <https://energyplus.net/testing> >. Acesso em: 02/04/2020.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >.

FENN, J.; RASKINO, M. **Mastering the hype cycle: how to choose the right innovation at the right time**. Boston: Harvard Business Press, 2008.

FOSSATI, M. *et al.* Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216-1231, 2016.

GELLER, Howard *et al.* Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, v. 32, n. 12, p. 1437-1450, 2004.

GUGLIELMETTI, R.; MACUMBER, D.; LONG, N. **OpenStudio: An Open Source Integrated Analysis Platform**. National Renewable Energy Laboratory (NREL). U. S. Department of Energy (DOE). Building Simulation, Sidney, Austrália. p. 1 – 11. 2011.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. New York: Spon Press, 2011.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. 2 ed. New York: Routledge, 2019.

HEO, Y.; CHOUDHARY, R.; AUGENBROE, G. A. Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty. **Energy and Buildings**, v. 47, n. 4, p. 550-560, 2012.

IBPSA. International Building Performance Simulation Association. Disponível em: <<http://www.ibpsa.org/>>. Acesso em: 07/11/2019.

IEA. International Energy Agency. Disponível em: <<http://www.iea.org/>>. Acesso em: 20/03/2020.

INVIDIATA, A. *et al.* Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: Encontro

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16, São Paulo. **Anais** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2016.

JACKSON, T. **Prosperidade sem crescimento: vida boa em um planeta finito**. São Paulo: Abril, 2013.

KUBO, K. G. **A influência das variáveis do Design Day, consideradas na simulação com o EnergyPlus e desconsideradas pela NBR 15575/2013, nos resultados de desempenho térmico de edificações**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LOPES, A. C. P. *et al.* Energy efficiency labeling program for buildings in Brazil compared to the United States' and Portugal's. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 207-219, 2016.

MALKAWI, A.; AUGENBROE, G. **Advanced building simulation**. New York: Spon Press, 2003.

MARA, T. A.; TARANTOLA, S. Application of global sensitivity analysis of model output to building thermal simulations. **Building Simulation**, v. 1, n. 4, p. 290–302, 2008.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2009.

MENDES, N. *et al.* Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.

MICHAELIS. **Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. 2 ed. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda., 2015.

MOLLE, D.; PATRY, P. M. **RT 2012 et RT Existant: Réglementation thermique et efficacité énergétique**. 2 ed. Paris: Eyrolles Environnement, 2013.

NREL. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: < <https://www.nrel.gov/> >. Acesso em: 07/06/2020.

OPENSTUDIO. What is OpenStudio. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/>>. Acesso em: 05/04/2020.

OPENSTUDIO®. Programa de simulação computacional de energia, versão 3.1.0. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/downloads>>.

PEREIRA, H. A. C. *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2013.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional.** Tradução de Ariovaldo Griesi e Mario Moro Fecchio. Revisão técnica de Reginaldo Arakaki, Julio Arakaki e Renato Manzan de Andrade. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

PROCEL. Procel Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/> >. Acesso em: 20/03/2020.

PUCRS. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Engenharia, FENG. Grupo de Eficiência Energética, GEE. Manual USE - Uso Sustentável da Energia: guia de orientações. **PUCRS, FENG, GEE**, Porto Alegre, 2010.

RAFTERY, P.; KEANE, M.; O'DONNELL, J. Calibrating whole building energy models: an evidence-based methodology. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 9, p. 2356-2364, 2011.

RODRIGUES, F. D. S. **Serviço de Visualização 3D Interativa em Ambiente Web de Simulações do Consumo Energético de Edifícios.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática e Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

RODRIGUES, C. O. M.; PEDRINI, A. Integração da simulação termoenergética nas primeiras fases do processo projetual: o estudo de seis casos. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 245-266, 2017.

SHABUNKO, V.; LIM, C. M.; MATHEW, S. EnergyPlus models for the benchmarking of residential buildings in Brunei Darussalam. **Energy and Buildings**, v. 169, p. 507-516. 2018.

SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SORGATO, M. J. *et al.* Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 83–101, 2014.

TRIANA-MONTES, M. A. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

VEIGA, R. K. *et al.* **Manual de uso do ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) no programa ENERGYPLUS - Versão 9.1.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2019.

VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **[TUTORIAL OPENSTÚDIO 1.0] Plugin do EnergyPlus para Sketchup.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2010.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. **Building and Environment**, v. 112, p. 337-350, 2017.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Performance-based validation of climatic zoning for building energy efficiency applications. **Applied Energy**, v. 212, p. 416-427, 2018.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Validation of the climatic zoning defined by ASHRAE standard 169-2013. **Energy Policy**, v. 135, p. 111016, 2019.

WALSH-GARCÍA, A. S. **Thermal performance oriented climatic zoning for buildings.** 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidades) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

WANG, L.; MATHEW, P.; PANG, X. Uncertainties in energy consumption introduced by building operations and weather for a medium-size office building. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 152–158, 2012.

WORLD BANK. International Energy Agency. IEA. **Global Tracking Framework Report: Progress Toward Sustainable Energy.** Washington DC, 2015.

# GABARITO

---

Na abertura desta unidade foram levantadas algumas questões relacionadas ao conteúdo do Módulo. Também foi dito que, ao final, você teria o aporte teórico suficiente para respondê-las. Pois bem, chegamos ao fim desta primeira etapa do estudo. E, então, como se saiu?

Quanto às respostas específicas para a seção “Agora é com você”, temos que:

Os ditos programas computacionais de simulação do desempenho térmico e energético de edifícios são aqueles que integram diferentes modelos físicos para processar a interação entre os sistemas da edificação. Esses modelos podem ser programados de diferentes modos e, como resultado, cada software terá seu próprio modo de “interpretar” os dados que lhe são fornecidos.

A simulação computacional, por sua vez, está associada a uma tentativa de reprodução de uma “realidade” no âmbito computacional, a qual se dá através de modelos. Em nosso caso, esta realidade é o comportamento do edifício quando submetido às diversas condicionantes de ordem externa e interna que influem em seu desempenho térmico e energético. Cada parâmetro (e conjunto de parâmetros) são representados por meio de modelos específicos.

Conforme o próprio nome sugere, a simulação do desempenho de edifícios é aplicada para avaliação do desempenho de edifícios, do ponto de vista termoenergético. Esta avaliação pode ser expressa por meio de diversos indicadores. Conseqüentemente, o uso da ferramenta é bastante amplo e está atrelado a diversas áreas do conhecimento, remetendo a todas as etapas de projeto, a documentos válidos no território de um país (normativas técnicas, regulamentos e programas para certificação do nível de eficiência energética das edificações), ao benchmarking e ao retrofit de edifícios, ao desenvolvimento e validação de zoneamentos climáticos baseados em desempenho, e assim por diante. Elenque outras possibilidades além das citadas na Seção 2.1 deste manual.

Naturalmente, todo este potencial reflete-se em inúmeros benefícios a diversos agentes. Estes vão desde o ambiente construído como um todo (prever o desempenho do edifício ainda em projeto é notoriamente mais econômico e eficiente do que intervir para corrigir problemas quando o mesmo já está em funcionamento), a sociedade civil, o Estado, a ciência, e assim por diante. Apresente mais algumas vantagens além das relatadas na Seção 2.1.



# MÓDULO II



## O CLIMA

## NESTE MÓDULO VOCÊ

# APRENDERÁ

---

**O** Clima aborda os principais tipos de arquivo climático para simulação do desempenho de edifícios e as variáveis contidas nesses arquivos. Aliás, quais variáveis climáticas você conhece? Na sequência, são apresentados os procedimentos para conversão de arquivos climáticos para formatos que podem ser abertos e manipulados por meio de planilhas numéricas. Esses dados, então, são visualizados e analisados por meio de tabelas e gráficos, de modo a representar o clima do município estudado.

A fim de expandir o contexto das aplicações dos dados de clima, criou-se um Apêndice deste módulo. Nele, são resumidas as influências das principais variáveis climáticas no conforto térmico dos seres humanos, a importância da carta bioclimática e das estratégias de projeto passivo e ainda conteúdos relacionados ao vigente zoneamento bioclimático brasileiro e suas propostas de revisão, incluindo o uso das ferramentas de simulação do desempenho de edifícios no processo de definição e validação de zonas climáticas. E não pense que poderá escapar da leitura do Apêndice. De antemão lhe adiantamos que estudá-lo será fundamental para resolver a atividade proposta na seção “Agora é com você”.

E então, estás pronto(a) para entender o que acontece do lado de fora da edificação? É hora de estudar o clima!

## CAPÍTULO QUARTO

# O ARQUIVO CLIMÁTICO

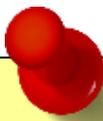
---

O clima é um dos principais impulsionadores do consumo de energia das edificações (CLARKE, 2007). Logo, a eficiência energética do ambiente construído está diretamente relacionada às interações entre o clima e o estoque de edificações. Mas o clima é subsistema do mundo real, portanto, possui leis e comportamentos próprios (SILVA, 2016). Nesse caso, você poderá corretamente deduzir (com base no que fora estudado no primeiro módulo, capítulo 2) que o modo para reproduzir o clima de um local será representá-lo por meio de modelos.

Esses modelos “traduzem” o clima em termos de variáveis climáticas e meteorológicas obtidas por meio de medições, observações e estimativas. Esses dados são reunidos em arquivos climáticos, os quais constituem um dos parâmetros de entrada para simulação do desempenho termoenergético de edifícios (rememore da Figura 1).

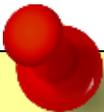
Os arquivos climáticos podem conter dados de anos específicos ou podem ser fruto do tratamento de dados para representar o clima de uma cidade (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento etc.) e, em geral, registram dados horários até que sejam atingidas as 8.760 horas de um ano completo (LAMBERTS *et al.*, 2016).

No Brasil, os principais tipos de arquivos climáticos usados em programas de simulação computacional são do tipo *Test Reference Year* (TRY), *Typical Meteorological Year* (TMY), o projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) e INMET (dados medidos nas estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia) (SCHELLER *et al.*, 2015). As notas a seguir fixam um resumo sobre a concepção de cada um desses arquivos.



### *TRY – Test Reference Year*

Os arquivos climáticos TRY representam um ano de dados médios para uma localidade específica, sem extremos de temperatura. É formado a partir de um ano típico. Ou seja, seleciona-se como referência um ano cujas estações são representativas do clima local, com base na série de dados disponíveis. Como provém de dados que realmente ocorreram, pode conter meses ou dias com valores extremos.



### *TMY – Typical Meteorological Year*

Um arquivo climático TMY contém dados horários para os doze meses de um ano. É formado a partir de meses típicos de toda a série de dados disponíveis, excluídos meses muito quentes ou muito frios. Logo, resulta em um ano hipotético (ou seja, que nunca aconteceu).

### *SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment*

O projeto SWERA teve início em 2001 com objetivo de disponibilizar informações sobre recursos energéticos renováveis para diversas regiões do mundo (SCHELLER *et al.*, 2015). Os arquivos possuem extensão *.epw* para uso no programa *EnergyPlus™* e são do tipo TMY (LAMBERTS *et al.*, 2016).

### *INMET – Instituto Nacional de Meteorologia*

Os arquivos climáticos de municípios brasileiros foram elaborados com base em dados medidos de estações meteorológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010 para 411 municípios brasileiros (RORIZ, 2012). São arquivos que apresentam tratamento dos dados e valores estimados para algumas variáveis climáticas, a fim de preencher certas lacunas nos dados oriundos das estações meteorológicas (RORIZ, 2013).



**Para saber mais** sobre os tipos de arquivo climático utilizados para a simulação computacional do desempenho de edificações, consulte o trabalho de Scheller *et al.* (2015).

A Tabela 1 apresenta as principais variáveis climáticas contidas nos arquivos climáticos próprios para simulação computacional do desempenho de edificações.

Tabela 1: Variáveis climáticas contidas em arquivos climáticos e respectivas unidades

| <b>Variável climática</b>                                                                                          | <b>Unid.</b>         | <b>Variável climática</b>                                                  | <b>Unid.</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <i>Dry Bulb Temperature</i><br>Temperatura de Bulbo Seco                                                           | {C}                  | <i>Wind Speed</i><br>Velocidade do Vento                                   | {m/s}        |
| <i>Dew Point Temperature</i><br>Temperatura do Ponto de Orvalho                                                    | {C}                  | <i>Total Sky Cover</i><br>Cobertura Total do Céu                           | {.1}         |
| <i>Relative Humidity</i><br>Umidade Relativa                                                                       | {%}                  | <i>Opaque Sky Cover</i><br>Cobertura do Céu Opaco                          | {.1}         |
| <i>Atmospheric Pressure</i><br>Pressão Atmosférica                                                                 | {Pa}                 | <i>Visibility</i><br>Visibilidade                                          | {km}         |
| <i>Extraterrestrial Horizontal Radiation</i><br>Radiação Horizontal Extraterrestre                                 | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Ceiling Height</i><br>Altura do teto                                    | {m}          |
| <i>Extraterrestrial Direct Normal Radiation</i><br>Radiação Normal Direta Extraterrestre                           | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Present Weather Observation</i><br>Observação do Tempo Presente         | -            |
| <i>Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky</i><br>Intensidade de Radiação Infravermelha Horizontal do Céu | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Present Weather Codes</i><br>Códigos Meteorológicos Atuais              | -            |
| <i>Global Horizontal Radiation</i><br>Radiação Global                                                              | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Precipitable Water</i><br>Precipitação                                  | {mm}         |
| <i>Direct Normal Radiation</i><br>Radiação Normal Direta                                                           | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Aerosol Optical Depth</i><br>Profundidade óptica de aerossol            | {.001}       |
| <i>Diffuse Horizontal Radiation</i><br>Radiação Difusa                                                             | {Wh/m <sup>2</sup> } | <i>Snow Depth</i><br>Profundidade da Neve                                  | {cm}         |
| <i>Global Horizontal Illuminance</i><br>Illuminância Horizontal Global                                             | {lux}                | <i>Days Since Last Snow</i><br>Dias Desde a Última Neve                    | -            |
| <i>Direct Normal Illuminance</i><br>Illuminância Normal Direta                                                     | {lux}                | <i>Albedo</i><br>Coeficiente de Reflexão                                   | {.01}        |
| <i>Diffuse Horizontal Illuminance</i><br>Illuminância Difusa                                                       | {lux}                | <i>Liquid Precipitation Depth</i><br>Profundidade de precipitação líquida  | {mm}         |
| <i>Zenith Luminance</i><br>Iluminação zenital                                                                      | {Cd/m <sup>2</sup> } | <i>Liquid Precipitation Quantity</i><br>Quantidade de Precipitação Líquida | {hr}         |
| <i>Wind Direction</i><br>Direção do Vento                                                                          | {deg}                |                                                                            |              |

Os arquivos climáticos para simulação do desempenho de edifícios podem ser baixados a partir dos seguintes endereços eletrônicos:

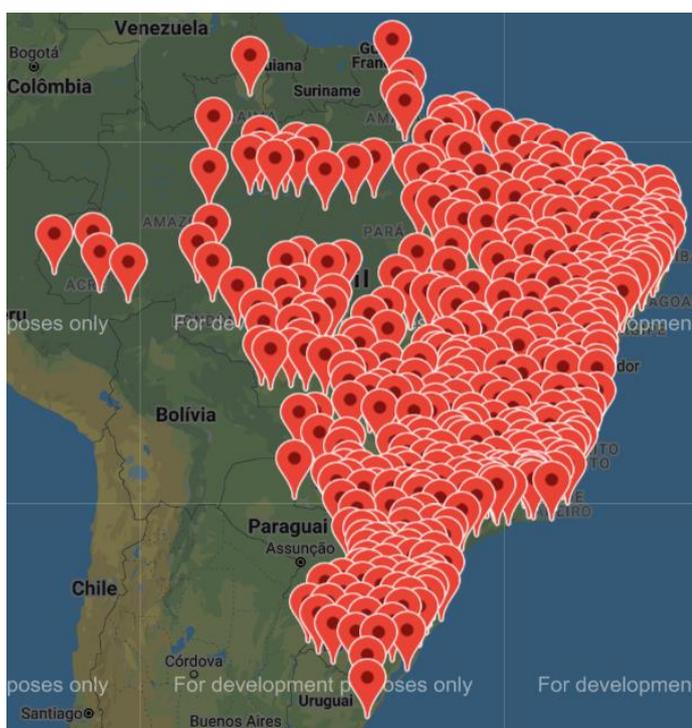
- i) Pelo *site* do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> <<https://energyplus.net/>>, no menu *Weather*, o qual contém arquivos climáticos para diversos países;
- ii) Pelo repositório de dados climáticos do *Climate.OneBuilding.Org*, criadores do *epw*: <<http://climate.onebuilding.org/>>, também em escala global;
- iii) Na página do Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE), disponível em <<http://labeee.ufsc.br/>>, para arquivos do Brasil.

No âmbito nacional, os arquivos tipo TRY podem ser baixados na página do LabEEE para 14 municípios: Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória (LABEEE, 2020).

Os arquivos climáticos SWERA podem ser baixados no *site* do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> para 20 cidades brasileiras: Belém, Belo Horizonte, Boa Vista, Bom Jesus da Lapa, Brasília, Campo Grande, Cuiabá, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Jacareacanga, Manaus, Petrolina, Porto Nacional, Porto Velho, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, Santa Maria e São Paulo.

Os arquivos climáticos revisados (INMET) consistem no maior banco de dados do país no formato *.epw*, remetendo a mais de 400 cidades do Brasil (Figura 14) e podem ser obtidos a partir do *site* do LabEEE, na seção *downloads* (LABEEE, 2020).

Figura 14: Localidades disponíveis para *download* de arquivos climáticos INMET 2016



Fonte: < <http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016> >

## ROTEIRO II-a

# CONVERSÃO DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS

---

Nos Roteiros que seguem realizaremos análises dos dados de arquivos climáticos. Para realizar este estudo, utilizaremos planilhas para tabulação e manipulação das variáveis de clima. Vimos que os arquivos climáticos podem ser de diversos tipos (TMY, TRY, SWERA, INMET). Seja qual for o modelo, o arquivo de entrada do programa *EnergyPlus*<sup>TM</sup> que contém todos os dados de clima padronizados possui o formato “.epw”, que é uma abreviação para “*EnergyPlus Weather*”. Note que a extensão de um arquivo representa o formato que o *software* é capaz de abrir e processar as informações nele contidas.

O arquivo .epw pode ser convertido para o formato “.csv” – abreviação para “*Comma Separated Values*” – que é um tipo de arquivo onde os valores são separados por vírgula. O .csv é um formato de armazenamento mais simples e palpável que agrupa informações de arquivos de texto em planilhas, muito acessível, visual e utilizado para trocas de dados com um banco de dados ou uma planilha entre aplicativos, como o programa *Microsoft Excel*, por exemplo. Essas características fazem do .csv um formato bastante apreciado para manipulação de grandes conjuntos de dados.

Para realizar essa conversão .epw para .csv, o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> conta com um aplicativo auxiliar: o *Weather Statistics and Conversions*. Diante disso, nesse roteiro aprenderemos como utilizar essa ferramenta para converter os dados de clima em arquivos de planilha.

## PASSO 1: BAIXANDO UM ARQUIVO CLIMÁTICO

Para fazer o *download* de um arquivo climático, acesse um dos *sites* relatados na página anterior. Como exemplo, demonstraremos o procedimento a partir de um arquivo tipo SWERA referente aos dados climáticos do município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, obtido do banco de dados do *site* do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

Acesse <<https://energyplus.net/>> e clique em *Weather*, conforme a Figura 15. Observe que os dados de clima de uma localidade podem ser buscados tanto por meio de palavras-chave

em “*Keyword Search*” quanto por seleção manual dentre os países de cada continente, clicando em “*South America*”, em seguida em “*BRA – Brazil*” e, depois, “*Campo Grande (SWERA)*”.

Figura 15: Passos para *download* de um arquivo climático

The screenshot shows the EnergyPlus website's 'Weather Data' section. The navigation bar includes 'EnergyPlus', 'Downloads', 'Documentation', 'QuickStart', 'Support & Training', 'Licensing', 'Weather', and 'Log in'. The main heading is 'Weather Data', with a sub-heading 'View Weather Data' and a note: 'Weather data for more than 2100 locations are now available in EnergyPlus weather format — 1042 locations in the USA, 71 locations in Canada, and more than 1000 locations in 100 other countries throughout the world. The weather data are arranged by World Meteorological Organization region and Country.'

Under 'View Weather Data', there is a list of regions: Africa (WMO Region 1), Asia (WMO Region 2), South America (WMO Region 3), North and Central America (WMO Region 4), Southwest Pacific (WMO Region 5), and Europe (WMO Region 6). A red arrow points to 'South America (WMO Region 3)'. Below this is a 'Select a country.' dropdown menu with options: ARG - Argentina, BOL - Bolivia, BRA - Brazil, CHL - Chile, COL - Columbia, ECU - Ecuador, PER - Peru, PRY - Paraguay, URY - Uruguay, and VEN - Venezuela. A red arrow points to 'BRA - Brazil'. To the right is a 'Search Weather Data' section with a 'Keyword Search' input field and a 'Search' button. Below it is a 'Select a location.' dropdown menu with options: Jaguaribe 818330 (INMET), Jaguaruana 824930 (INMET), Merada Nova 825940 (INMET), Nixeramobim 825860 (INMET), and Campo Grande 836120 (SWERA). A red arrow points to 'Campo Grande 836120 (SWERA)'. Below this is a list of locations: Cuiaba-Marechal Ron 833620 (SWERA), Curitiba-Afonso Pen 838400 (SWERA), Brasilia-Kubitschek Intl AP 833780 (TRY.1962), Brasilia 867150 (INMET), and Planaltina 867160 (INMET). A red arrow points to 'Campo Grande 836120 (SWERA)'. To the right of this list is a 'Click on a file to download.' section with options: ddy, epw, and stat. A red arrow points to 'epw'. Below this is a 'Download All' button. In the bottom left corner, there is a cartoon illustration of two children, a girl and a boy, looking at each other.

Fonte: <<https://energyplus.net/>>

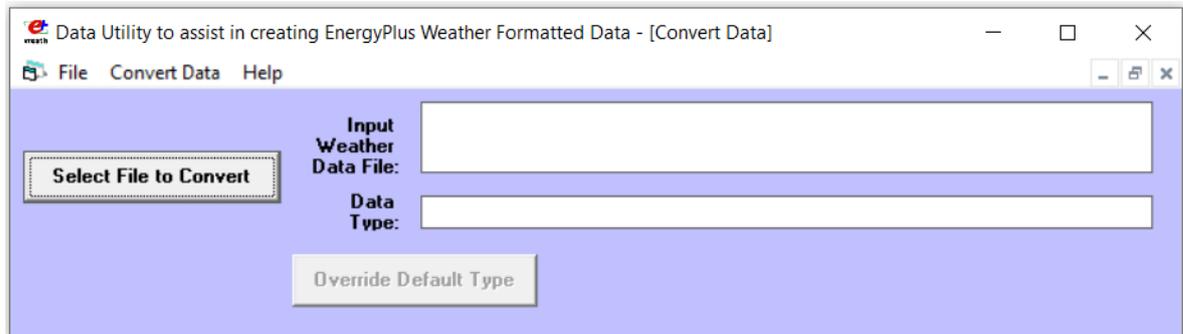
Note que ao clicar sobre a cidade, serão exibidos os formatos de arquivo disponíveis para *download*. Deve-se baixar, ao menos, no formato *epw* e *ddy* (você entenderá o porquê no módulo seguinte). Salve-os em uma pasta à parte em seu computador.

## PASSO 2: CONVERTENDO UM ARQUIVO CLIMÁTICO

Para obter arquivos *.csv* a partir dos arquivos climáticos, abra o *Weather Statistics and Conversions* a partir do diretório do *EnergyPlus™* ou digite o nome do aplicativo na busca do menu iniciar caso utilize *Windows*.

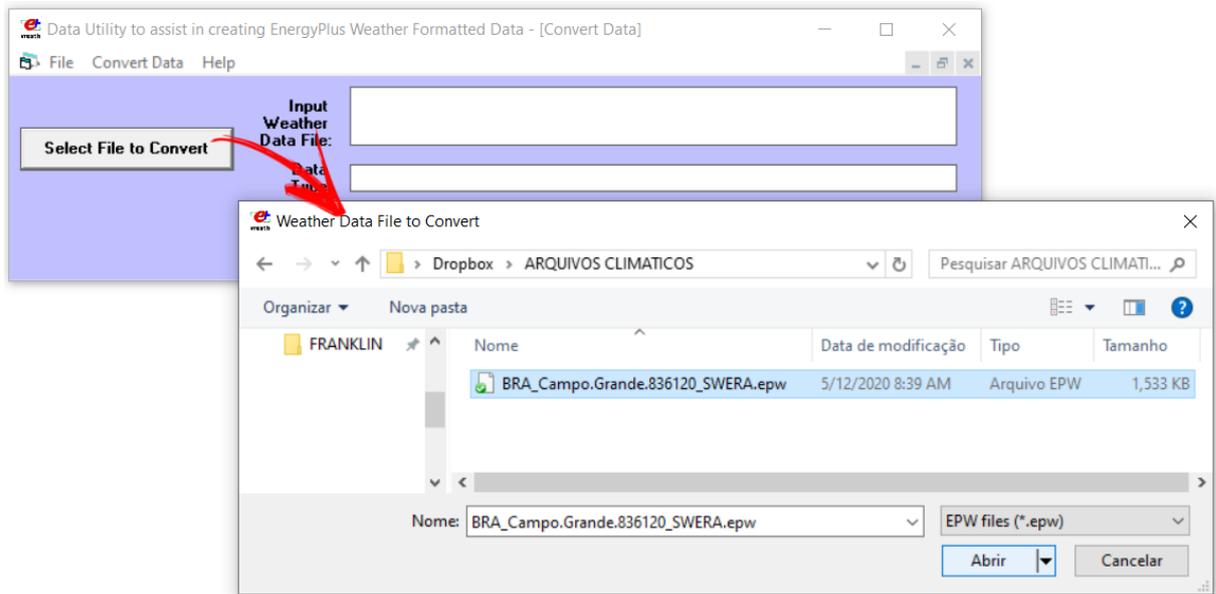
A seguinte interface de apresentação do programa aparecerá em sua tela:

Figura 16: Interface do *Weather Statistics and Conversions*



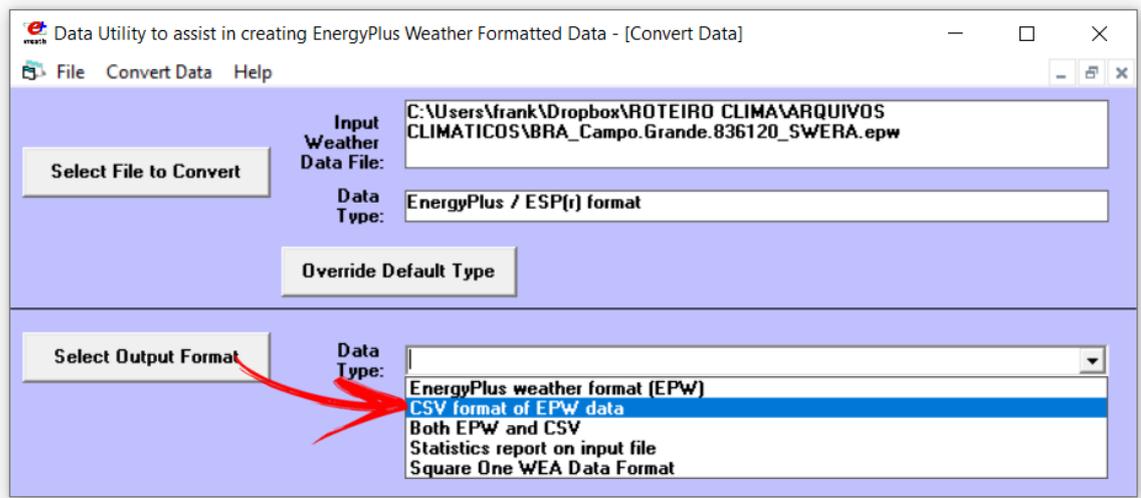
Clique no botão *Select File to Convert*  para localizar e selecionar o arquivo climático de entrada de formato *.epw*, conforme a Figura 17.

Figura 17: Seleção do arquivo climático para conversão



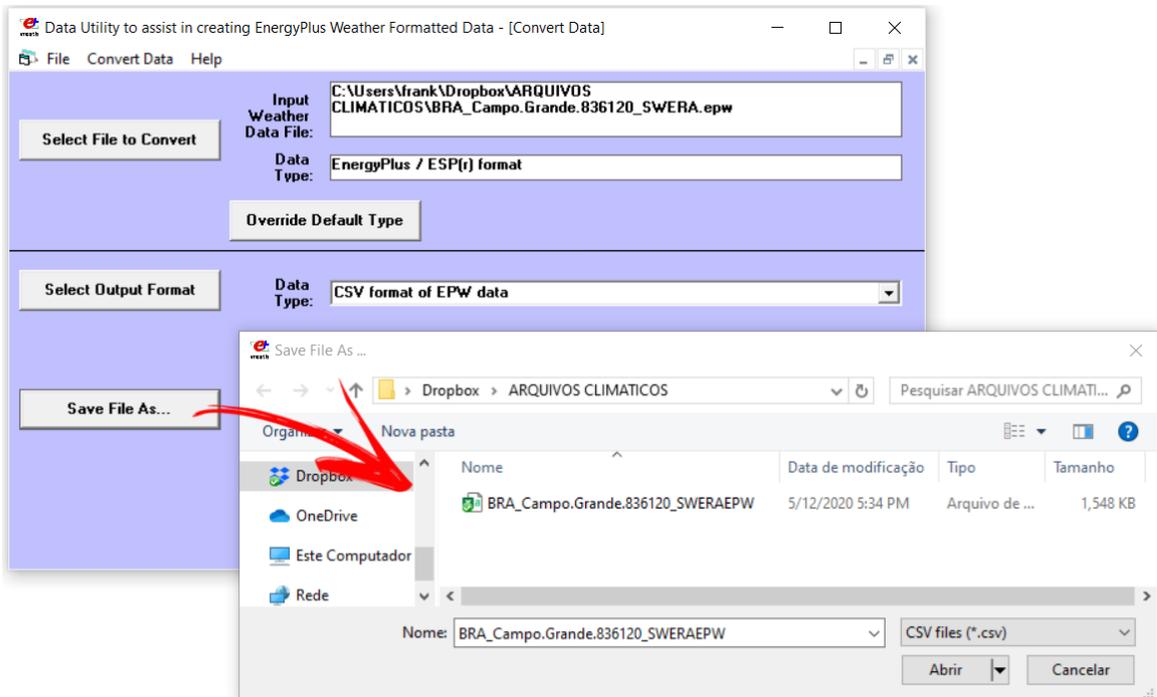
Em *Select Output Format*  selecione o tipo de dado de saída, no caso, *CSV format of EPW data*, conforme ilustra a Figura 18.

Figura 18: Seleção do formato de conversão



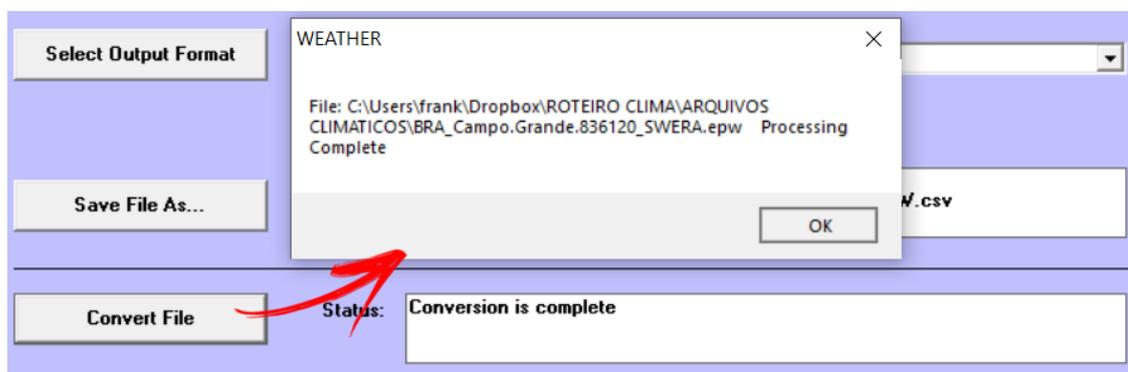
Salve o arquivo convertido em *Save File As...*  na mesma pasta de origem do arquivo *.epw* e aceite o nome sugerido pelo aplicativo.

Figura 19: Salvando o arquivo *.csv*



Para efetuar a conversão, clique no botão *Convert File* . Uma mensagem de aviso surgirá informando que o processamento foi completado com sucesso.

Figura 20: Finalização do processo de conversão



Verifique na pasta de destino o surgimento do arquivo .csv solicitado.

Figura 21: Localização do arquivo .csv na pasta de origem do .epw

| Nome                                   | Data de modificação | Tipo                  | Tamanho  |
|----------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------|
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERA          | 5/12/2020 8:39 AM   | EnergyPlus Locatio... | 28 KB    |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERA.epw      | 5/12/2020 8:39 AM   | Arquivo EPW           | 1,533 KB |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERA.stat     | 5/12/2020 8:39 AM   | Arquivo STAT          | 39 KB    |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERA          | 5/12/2020 4:39 AM   | WinRAR ZIP archive    | 252 KB   |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERAEPW.audit | 5/12/2020 5:34 PM   | Arquivo AUDIT         | 42 KB    |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERAEPW       | 5/12/2020 5:34 PM   | Arquivo de Valore...  | 1,548 KB |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERAEPW       | 5/12/2020 5:34 PM   | EnergyPlus Locatio... | 29 KB    |
| BRA_Campo.Grande.836120_SWERAEPW.stat  | 5/12/2020 5:34 PM   | Arquivo STAT          | 40 KB    |

Antes de abrimos o .csv para dar início às análises, atente-se ao aviso abaixo:

**ATENÇÃO!!!** Para usuários do Windows que estejam trabalhando com o formato de exibição de data, hora ou número em seu computador no sistema brasileiro convencional, é necessário modificar o formato de exibição do sistema decimal para o sistema norte-americano, em que valores decimais são separados por ponto (.) e os milhares são separados por vírgula (,).

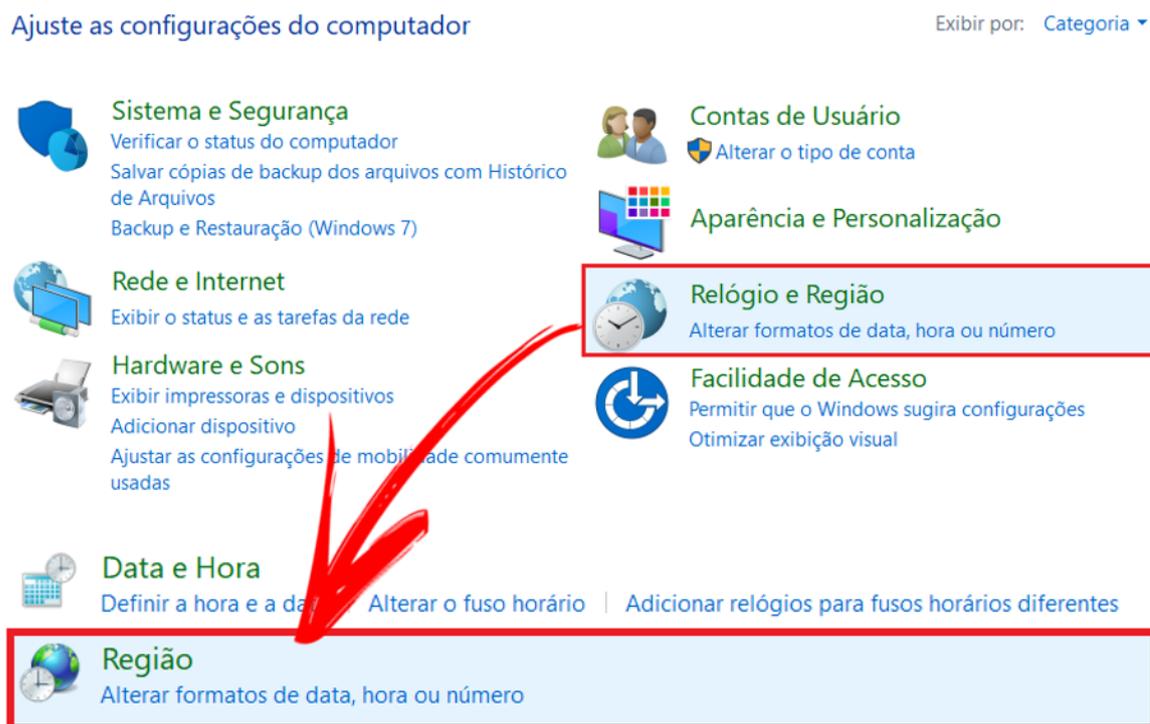


O motivo para essa mudança é que, ao exportar um arquivo CSV e abri-lo no *Excel* ou *OpenOffice*, alguns valores ficam desconfigurados, por exemplo: colunas de valores com casas

decimais podem ser apresentadas da seguinte maneira: 277.12000000000005, quando deveria conter o valor 277,12.

Para realizar esse câmbio no *Windows 10*, acesse o “Painel de controle”, clique em “Relógio e Região” e, em seguida, “Região”, conforme demonstrado na Figura 22.

Figura 22: Alteração dos formatos de data, hora e número do *Windows*

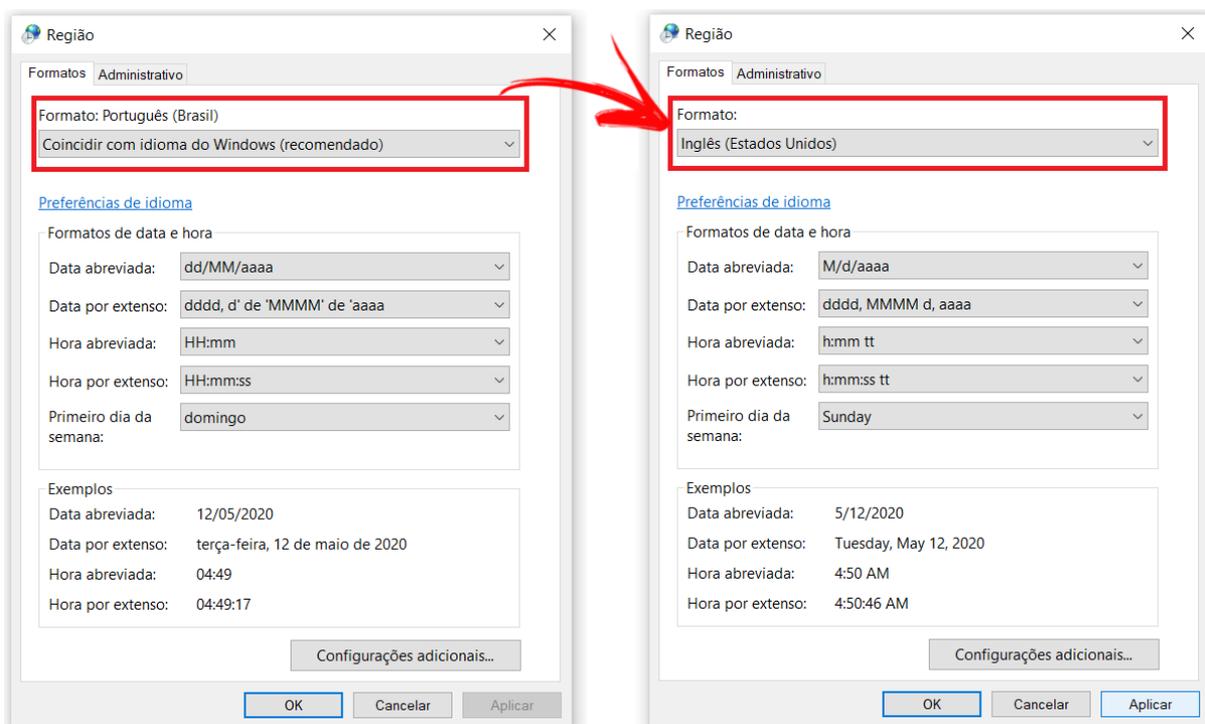


Então, altere para o formato “Inglês (Estados Unidos)”, clique em “Aplicar” e depois “Ok”, do modo como mostra a Figura 23. Pronto, suas preferências foram ajustadas.

Caso deseje retornar ao formato original, basta realizar o mesmo processo.

O procedimento descrito pode variar em outras versões do *Windows* e é diferente a depender do sistema operacional instalado em seu computador. Para maiores detalhes, consulte as páginas de suporte ao usuário para obter informações de como configurar os formatos de data, hora ou número para o padrão inglês de acordo com o seu gerenciador de recursos.

Figura 23: Ajuste para o formato do idioma inglês de exibição de data e hora do *Windows*



## ROTEIRO II-b

# ANÁLISE DOS DADOS DE ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Vamos, agora, analisar os dados contidos no arquivo climático que você converteu para o formato .csv. Para visualizá-los, abra o .csv com duplo clique sobre o arquivo. Note que há 8.760 linhas de dados horários (correspondente ao período de um ano inteiro) para diversas variáveis climáticas (rememore a relação dessas variáveis na Tabela 1 deste módulo).

Realizaremos a análise no programa *Microsoft Excel*. Caso o programa de planilhas do seu sistema operacional seja outro, tente de algum modo executar os passos em seu computador para atingir os mesmos resultados.

Para transferir os valores dos dados horários do .csv de Campo Grande/MS para o *Excel*, selecione todas as variáveis climáticas a partir da linha 19 (conforme a Figura 24). Em seguida, copie (*Ctrl + C*) e cole (*Ctrl + V*) essas informações em uma planilha .xls em branco.



**DICA!!!** Para agilizar o processo, primeiro selecione toda a linha 19 do .csv e depois utilize o atalho *Ctrl + Shift + “seta para baixo”* para selecionar todas as colunas de dados de uma só vez. Depois, é só copiar e colar no Excel. Aliás, procure pesquisar os atalhos de teclado do *Excel* na *web page* de suporte da *Microsoft* (<https://support.office.com>).

Figura 24: Selecionando todos os dados de clima a partir do .csv

| Date     | HH:MM | Datasourc | Dry Bulb T | Dew Point | Relative H | Atmospher | Extraterre | Extraterre | Horizontal | Global Ho |
|----------|-------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| 1/1/1991 | 1:00  | A7A7E8A7  | 22         | 13        | 57         | 94700     | 0          | 0          | 366        | 0         |
| 1/1/1991 | 2:00  | A7A7E8A7  | 21.8       | 13.4      | 59         | 94600     | 0          | 0          | 365        | 0         |
| 1/1/1991 | 3:00  | A7A7E8A7  | 22         | 13        | 57         | 94600     | 0          | 0          | 366        | 0         |
| 1/1/1991 | 4:00  | A7A7E8A7  | 21         | 14        | 64         | 94700     | 0          | 0          | 362        | 0         |
| 1/1/1991 | 5:00  | A7A7E8A7  | 21.4       | 13.6      | 61         | 94800     | 0          | 0          | 363        | 0         |
| 1/1/1991 | 6:00  | A7A7E8A7  | 22         | 14        | 60         | 94700     | 134        | 1283       | 370        | 48        |

Após colá-los, crie três colunas adicionais (similares à Figura 25, em verde) para separar as informações em valores numéricos inteiros de “mês”, “dia” e “hora” do ano. Exemplo: note que a hora sétima (HH:MM = 7:00) de primeiro de janeiro (*Date* = 1/1/1991) ficará: *Month* = 1; *Day* = 1; *Hour* = 7.

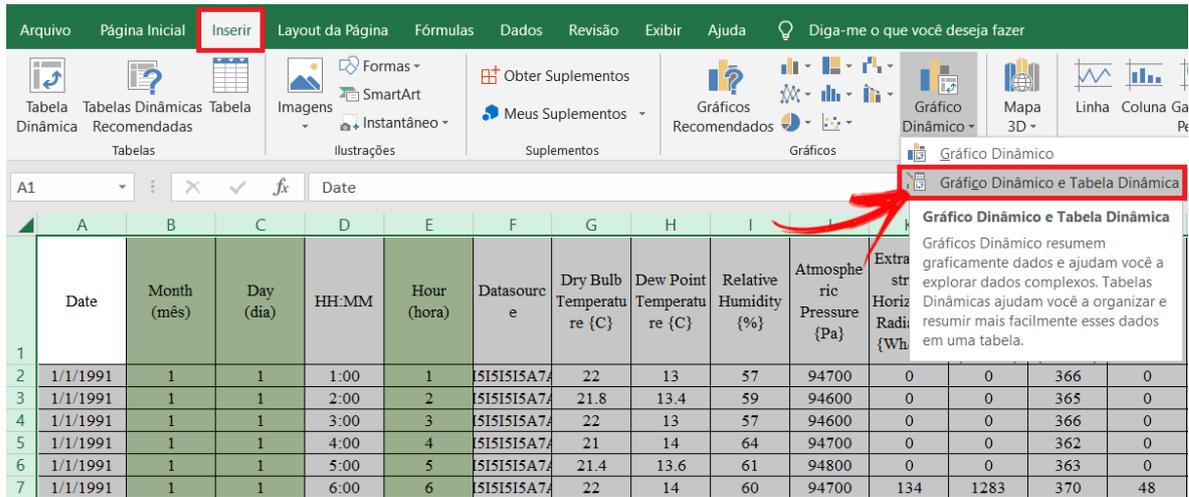
Para tanto, utilize as fórmulas de “**mês()**” e “**dia()**” nos dados da coluna *Date* e a função “**hora()**” em *HH:MM*. Atenção, utilize a formatação de “Número” na configuração dos dados das novas colunas.

Figura 25: Criando três colunas auxiliares no *Excel*

|    | A        | B           | C         | D     | E           | F          | G                        | H                         | I                     | J                         | K                                             | L                                                |
|----|----------|-------------|-----------|-------|-------------|------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|    | Date     | Month (mês) | Day (dia) | HH:MM | Hour (hora) | Datasource | Dry Bulb Temperature {C} | Dew Point Temperature {C} | Relative Humidity {%} | Atmospheric Pressure {Pa} | Extraterrestrial Horizontal Radiation {Wh/m2} | Extraterrestrial Direct Normal Radiation {Wh/m2} |
| 1  |          |             |           |       |             |            |                          |                           |                       |                           |                                               |                                                  |
| 2  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 1:00  | 1           | 5151515A7  | 22                       | 13                        | 57                    | 94700                     | 0                                             | 0                                                |
| 3  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 2:00  | 2           | 5151515A7  | 21.8                     | 13.4                      | 59                    | 94600                     | 0                                             | 0                                                |
| 4  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 3:00  | 3           | 5151515A7  | 22                       | 13                        | 57                    | 94600                     | 0                                             | 0                                                |
| 5  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 4:00  | 4           | 5151515A7  | 21                       | 14                        | 64                    | 94700                     | 0                                             | 0                                                |
| 6  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 5:00  | 5           | 5151515A7  | 21.4                     | 13.6                      | 61                    | 94800                     | 0                                             | 0                                                |
| 7  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 6:00  | 6           | 5151515A7  | 22                       | 14                        | 60                    | 94700                     | 134                                           | 1283                                             |
| 8  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 7:00  | 7           | 5151515A7  | 25                       | 15                        | 54                    | 94700                     | 448                                           | 1414                                             |
| 9  | 1/1/1991 | 1           | 1         | 8:00  | 8           | 5151515A7  | 28.8                     | 16.4                      | 47                    | 94800                     | 747                                           | 1414                                             |
| 10 | 1/1/1991 | 1           | 1         | 9:00  | 9           | 5151515E9  | 29.9                     | 17.2                      | 46                    | 94800                     | 1009                                          | 1414                                             |
| 11 | 1/1/1991 | 1           | 1         | 10:00 | 10          | 5151515A7  | 31                       | 18                        | 46                    | 94800                     | 1216                                          | 1414                                             |
| 12 | 1/1/1991 | 1           | 1         | 11:00 | 11          | 5151515A7  | 31.6                     | 18.2                      | 45                    | 94800                     | 1353                                          | 1414                                             |
| 13 | 1/1/1991 | 1           | 1         | 12:00 | 12          | 5151515A7  | 33                       | 20                        | 46                    | 94700                     | 1411                                          | 1414                                             |

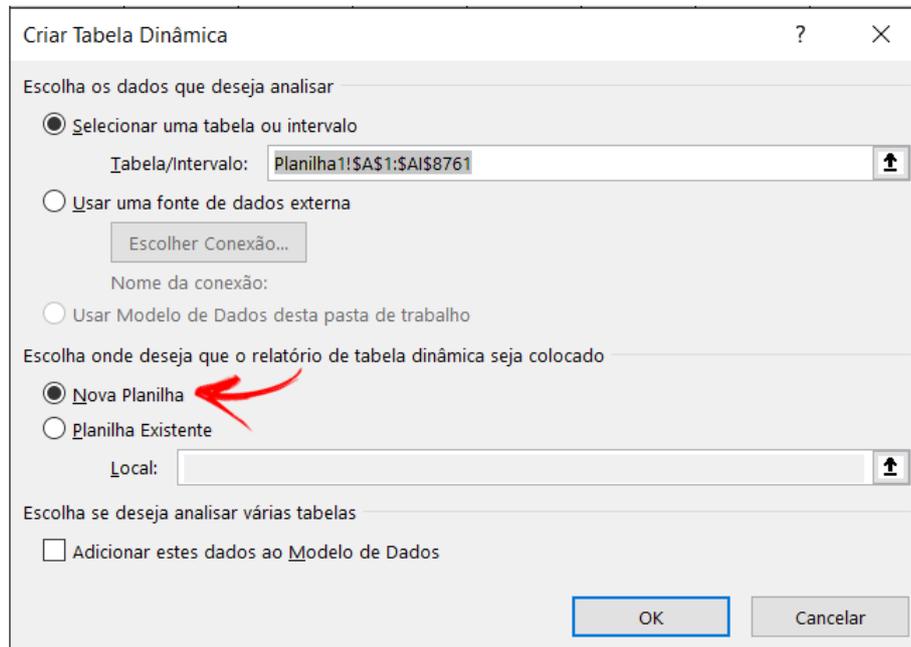
Essas três colunas foram criadas com intuito de possibilitar a construção de gráficos e “tabelas dinâmicas”, disponíveis na aba “Inserir” do *Excel*. Esse tipo de tabela facilita a seleção e visualização dos dados de interesse, portanto, são muito úteis para a construção de gráficos. Para produzir uma, selecione todos os dados contidos na planilha do *Excel* e clique em “Gráfico Dinâmico e Tabela Dinâmica”, conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26: Acessando a opção de gráfico dinâmico e tabela dinâmica do Excel



Uma janela irá se abrir:

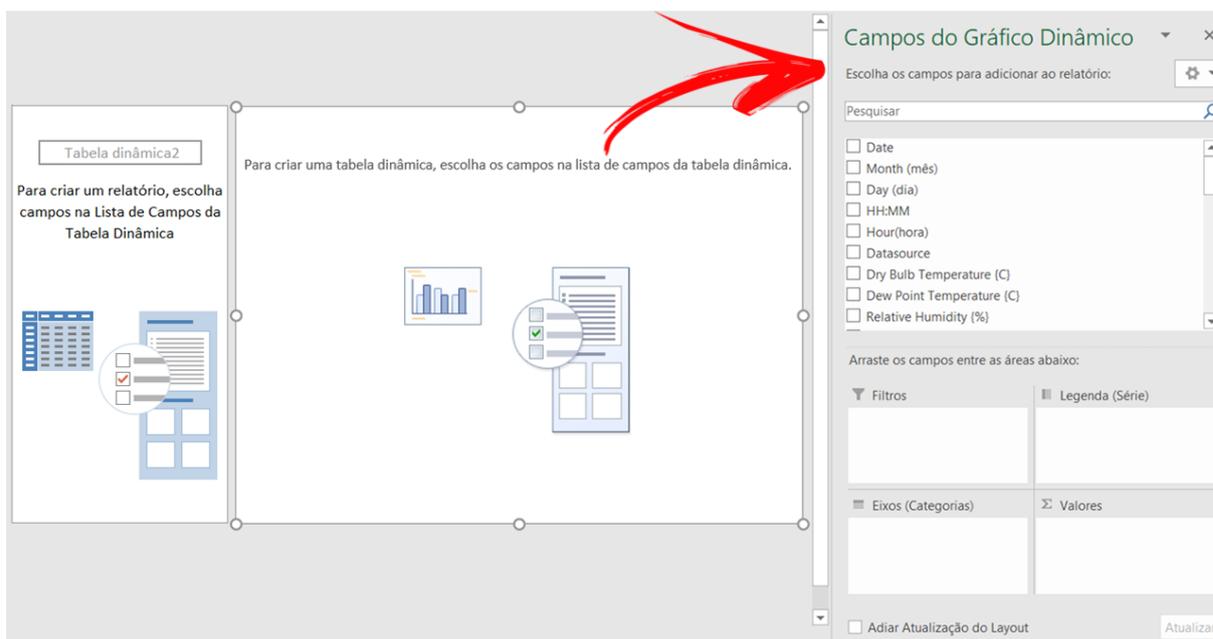
Figura 27: Janela para definição das informações da tabela dinâmica



Na escolha do local para criação do relatório da tabela dinâmica, recomenda-se a opção de uma “Nova Planilha”. Clique em *OK* e uma nova guia surgirá, semelhante à da Figura 28.

Agora, vamos criar um gráfico dinâmico. Como exemplo, tomaremos a temperatura de bulbo seco. Mas atenção, há gráficos adequados para representar cada tipo de variável, sejam dados horários, diários ou mensais. Procure conhecê-los.

Figura 28: Ambiente de edição da planilha para inserção de tabelas e gráficos dinâmicos



Note que a lista “Campos do Gráfico Dinâmico” reúne os dados de clima que havíamos selecionado para criação da tabela dinâmica e, logo abaixo, estão os itens “Filtros”, “Legenda”, “Eixos” e “Valores”.

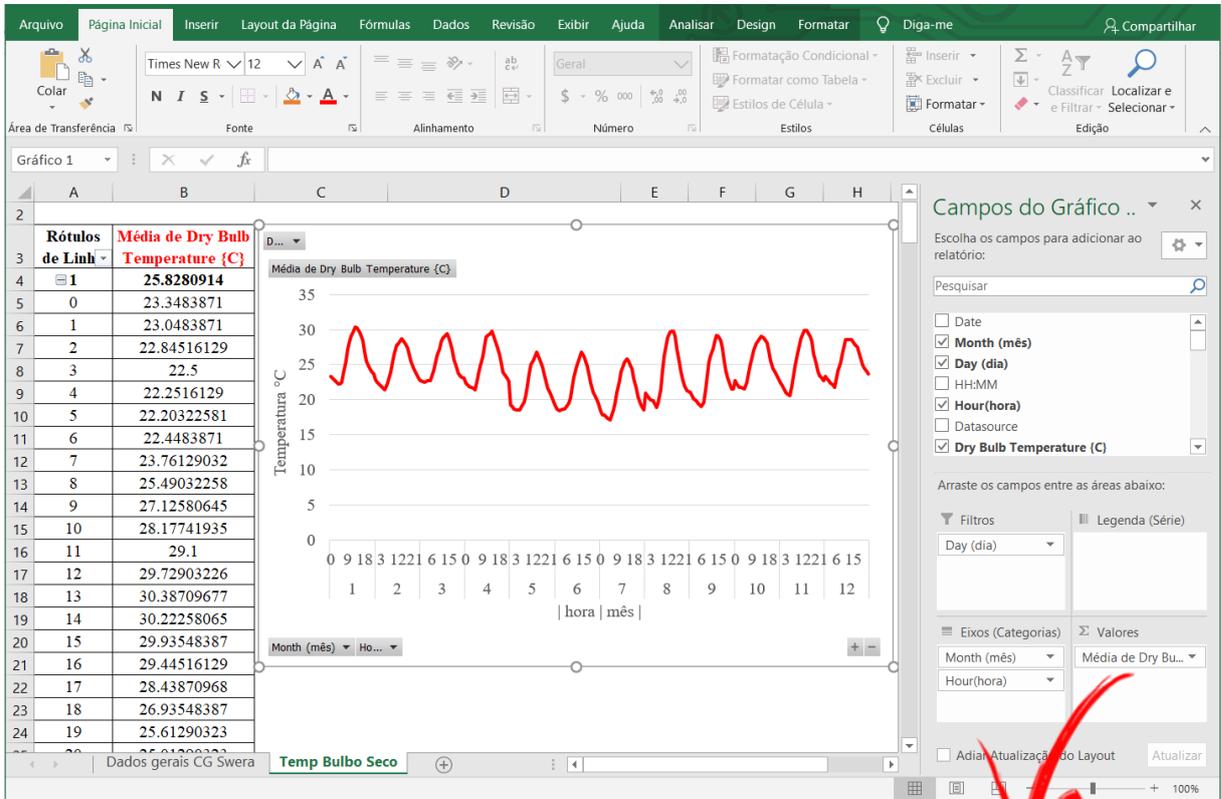
Para representar graficamente o clima de Campo Grande com relação à temperatura do ar, devem ser calculados as médias horárias de temperatura de bulbo seco durante os doze meses de um ano.

Para que o programa “entenda” o cálculo que intencionamos realizar, devemos primeiro assinalar os campos que correlacionem esses dados, ou seja: mês, dia, hora e temperatura de bulbo seco. Depois, temos de alocá-los nas áreas próprias para cada um (filtro, eixos e valores), conforme demonstrado na Figura 29.

Para escolher o tipo de fórmula que deseja usar no campo de valores (soma, média etc.), basta clicar sobre o ícone da variável assinalada e, então, clicar em “Configurações do Campo de Valor ...”. Por fim, selecione a opção “Média” e finalize em *OK*.

O gráfico também poderia ser criado com as funções usuais do *Excel*, mas se você possui o recurso de tabelas e gráficos dinâmico, tente utilizá-lo. Acredite, otimiza muito o processo. Caso você não tenha muita prática com a ferramenta de tabelas dinâmicas, procure por suporte (há diversos fóruns de ajuda na *internet*, além de ótimos vídeos disponíveis no *YouTube*).

Figura 29: Configuração para exibição do gráfico de temperatura de bulbo seco ao longo de um ano



Configurações do Campo de Valor

Nome da Fonte: Dry Bulb Temperature (C)

Nome Personalizado: Média de Dry Bulb Temperature (C)

Resumir Valores por: Mostrar Valores como

**Resumir campo de valor por**

Escolha o tipo de cálculo que deseja usar para resumir os dados do campo selecionado

- Soma
- Contagem
- Média
- Máx.
- Mín.
- Produto

Formato do Número

OK Cancelar

Média de Dry Bulb Te...

- Mover para Cima
- Mover para Baixo
- Mover para o Início
- Mover para o Fim
- Mover para Filtro de Relatório
- Mover para Campos de Eixo (Categorias)
- Mover para Campos de Legenda (Série)
- Mover para Valores
- Ocultar Botões de Campo de Valor no Gráfico
- Ocultar Todos os Botões de Campo no Gráfico
- Remover campo
- Configurações do Campo de Valor...

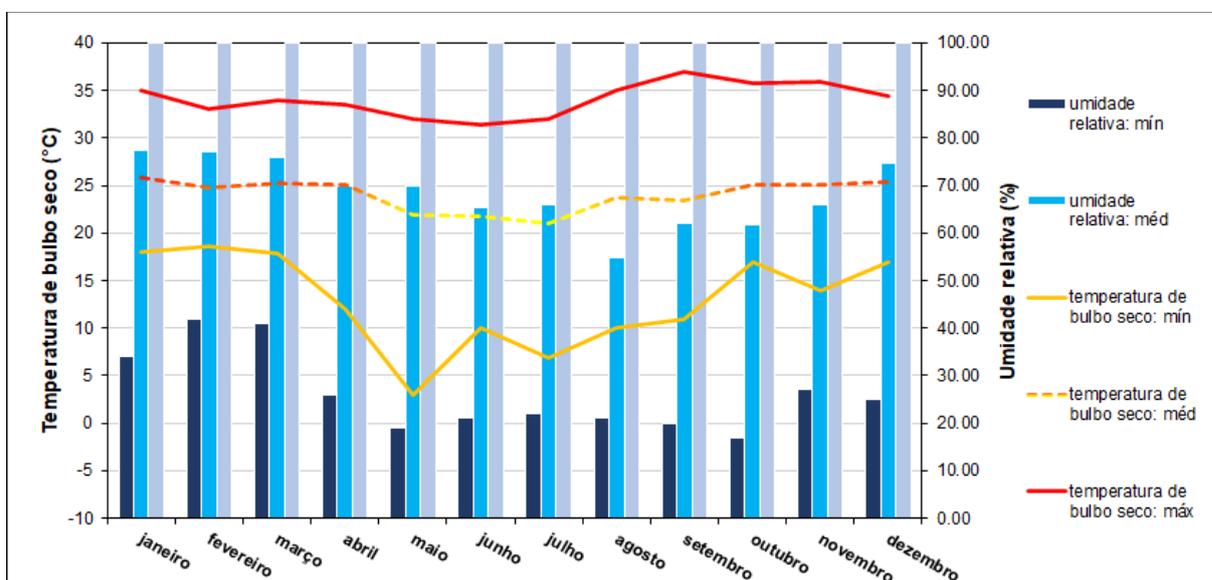


Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.*, 2006), Campo Grande é uma cidade de clima Tropical com Estação Seca de Inverno.

Esse tipo de clima caracteriza-se por temperatura média do ar acima de 18°C a maior parte do ano, com pluviosidade (chuvas) bastante reduzida durante o inverno. O gráfico a seguir correlaciona as médias mensais de temperatura do ar (em °C) com a umidade relativa (em %), além de apresentar os valores máximos e mínimos de cada parâmetro registrado durante o mês.

Note que a umidade relativa do ar é menor no período de inverno (de junho a setembro), o que é um reflexo da redução das chuvas nessa estação, enquanto que a temperatura de bulbo seco média mantém-se acima dos 18°C em todo o ano. Vale lembrar que estamos analisando as variáveis de um arquivo climático SWERA, o qual contém dados de um ano hipotético.

Figura 30: Temperatura do ar e umidade relativa de Campo Grande/MS



Além das variáveis de temperatura e de umidade, para representar o clima de um local é interessante também analisar a irradiação solar direta, difusa e global e a velocidade e direção do vento.

O gráfico da Figura 31 correlaciona a temperatura de bulbo seco com a irradiação solar ao longo de um ano. Observe que nos meses mais quentes o índice de irradiação solar é mais elevado. A irradiação solar difusa tem menor variação ao longo do ano quando comparada com a irradiação solar direta.

Na Figura 32 é apresentado a direção e velocidade do vento em função dos meses do ano. Com relação à direção, os dados em graus foram tratados em percentuais de ocorrência e suas respectivas velocidades médias nas direções norte, sul, leste, oeste para os meses do ano.

Figura 31: Temperatura de bulbo seco e irradiação solar de Campo Grande/MS

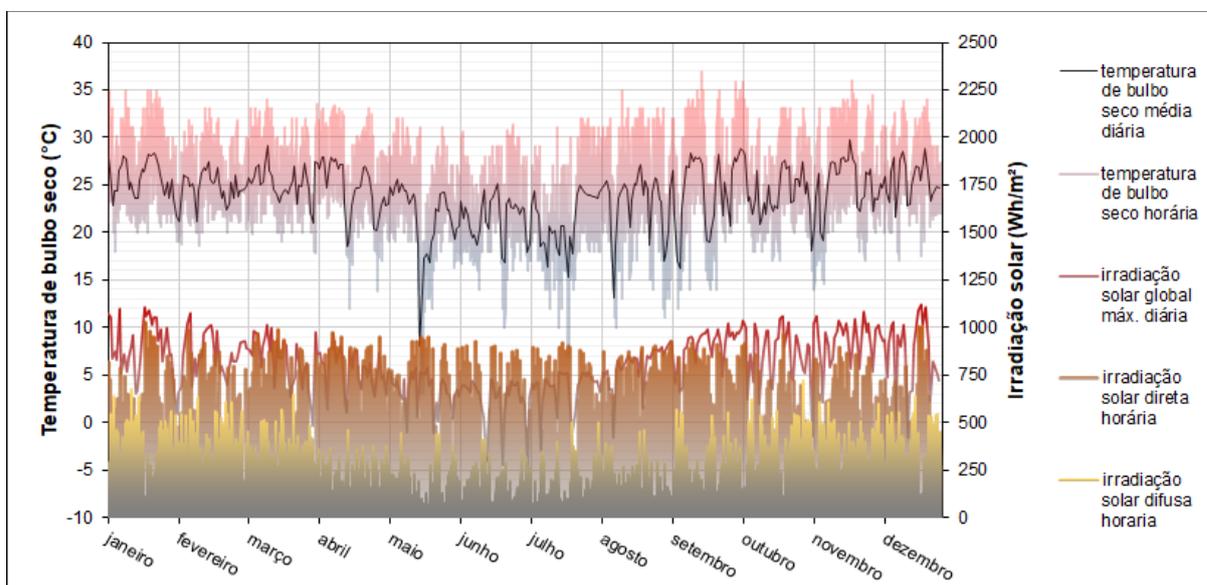
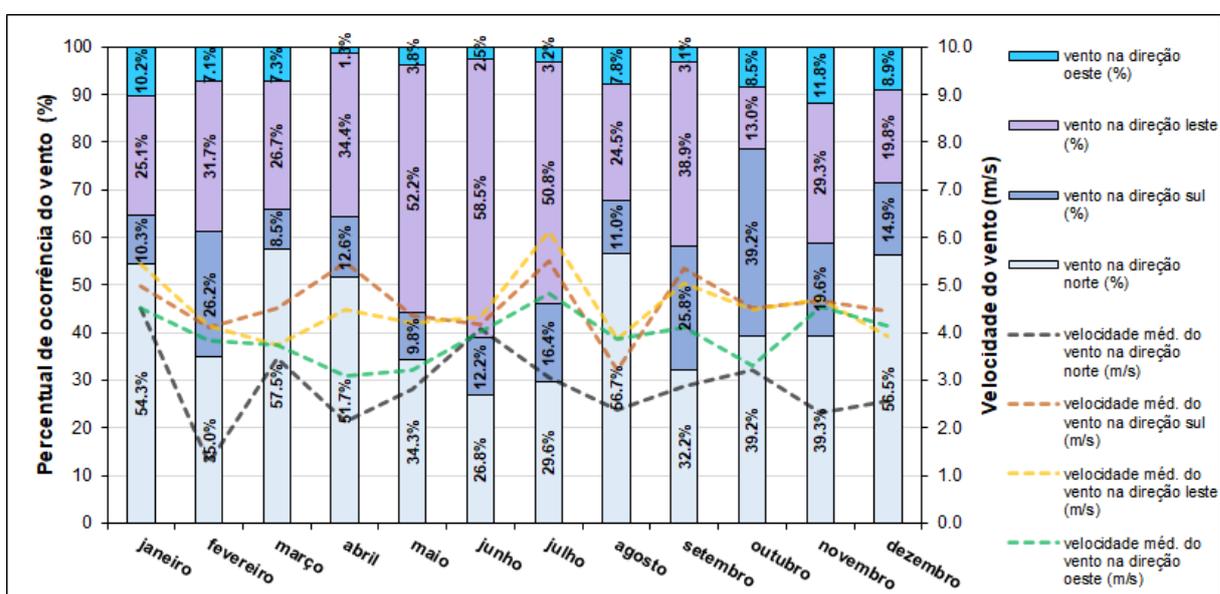


Figura 32: Percentual de ocorrência do vento e velocidade em suas respectivas direções



Outros gráficos podem ser gerados para caracterizar as variáveis climáticas elencadas. Como exemplo, são apresentados alguns gráficos tridimensionais que facilitam a visualização do comportamento dos dados de clima durante as horas que compõem um dia, ao longo dos meses do ano.

Figura 33: Temperatura de bulbo seco média de Campo Grande/MS

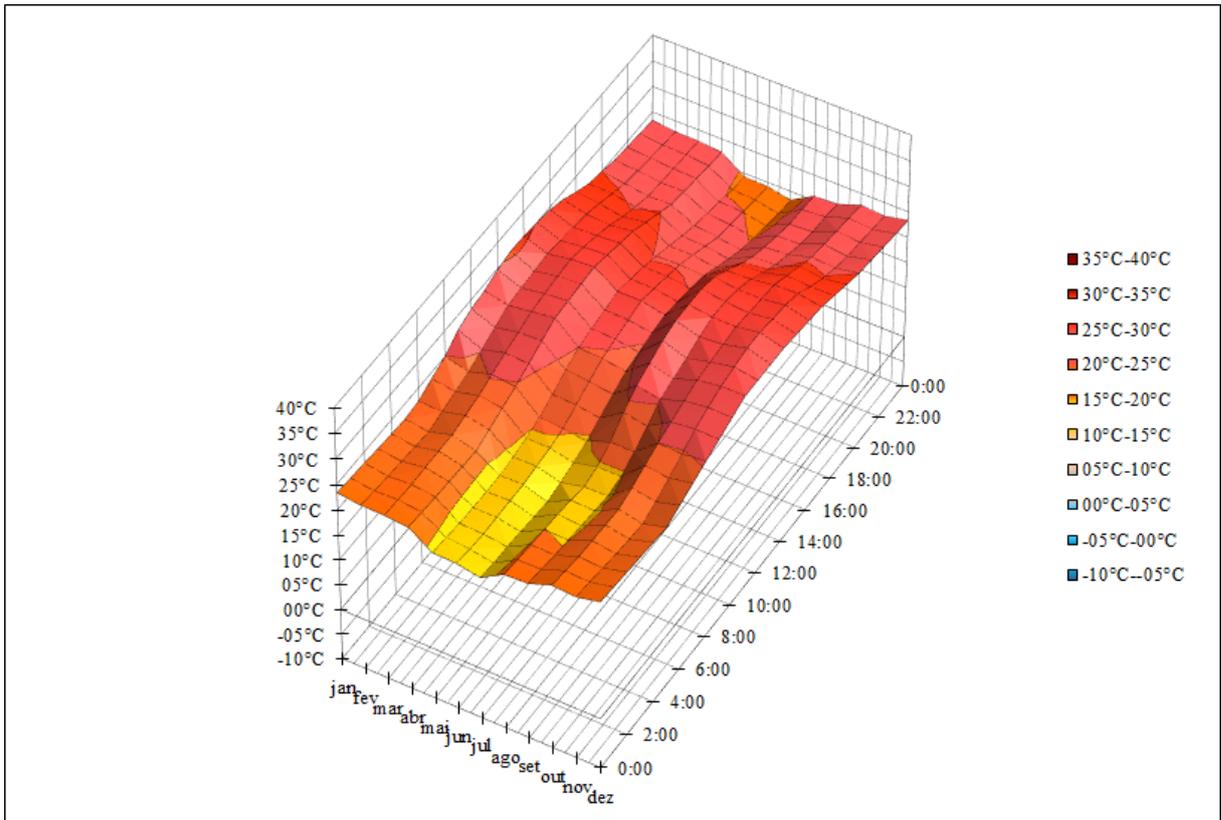


Figura 34: Umidade relativa média de Campo Grande/MS

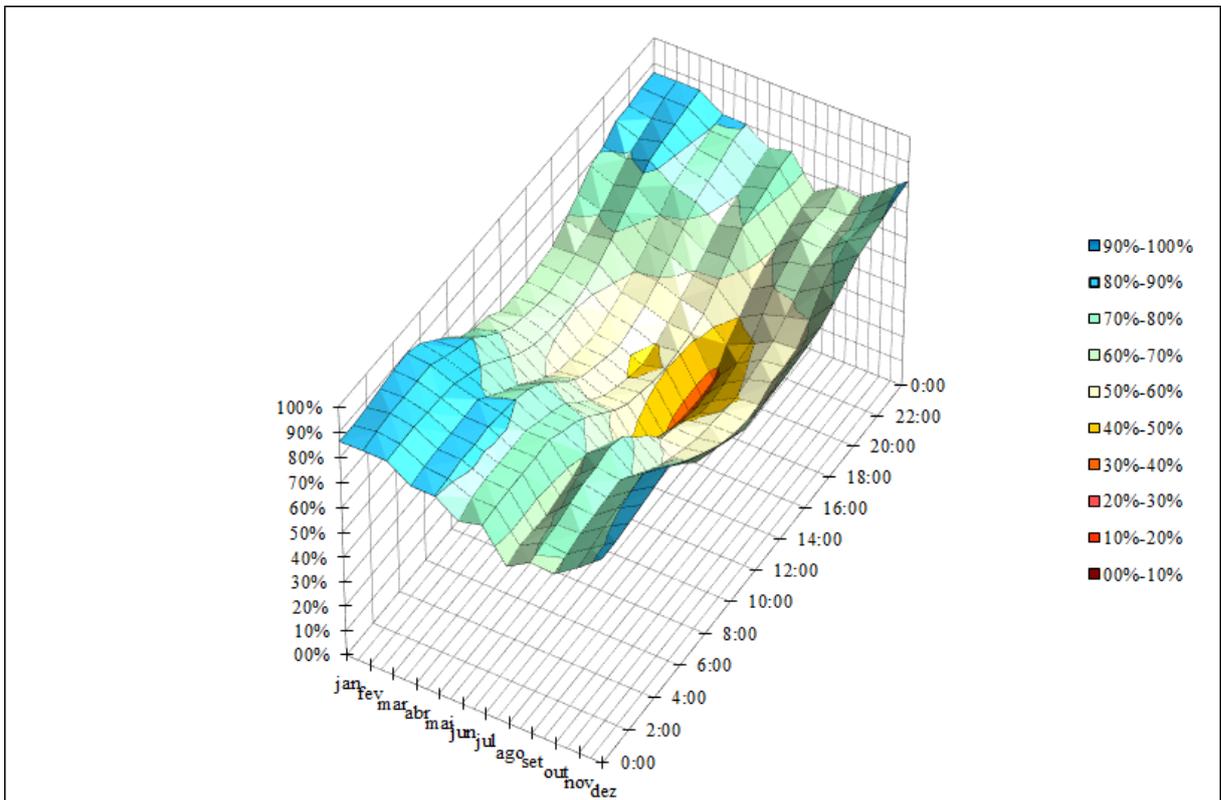
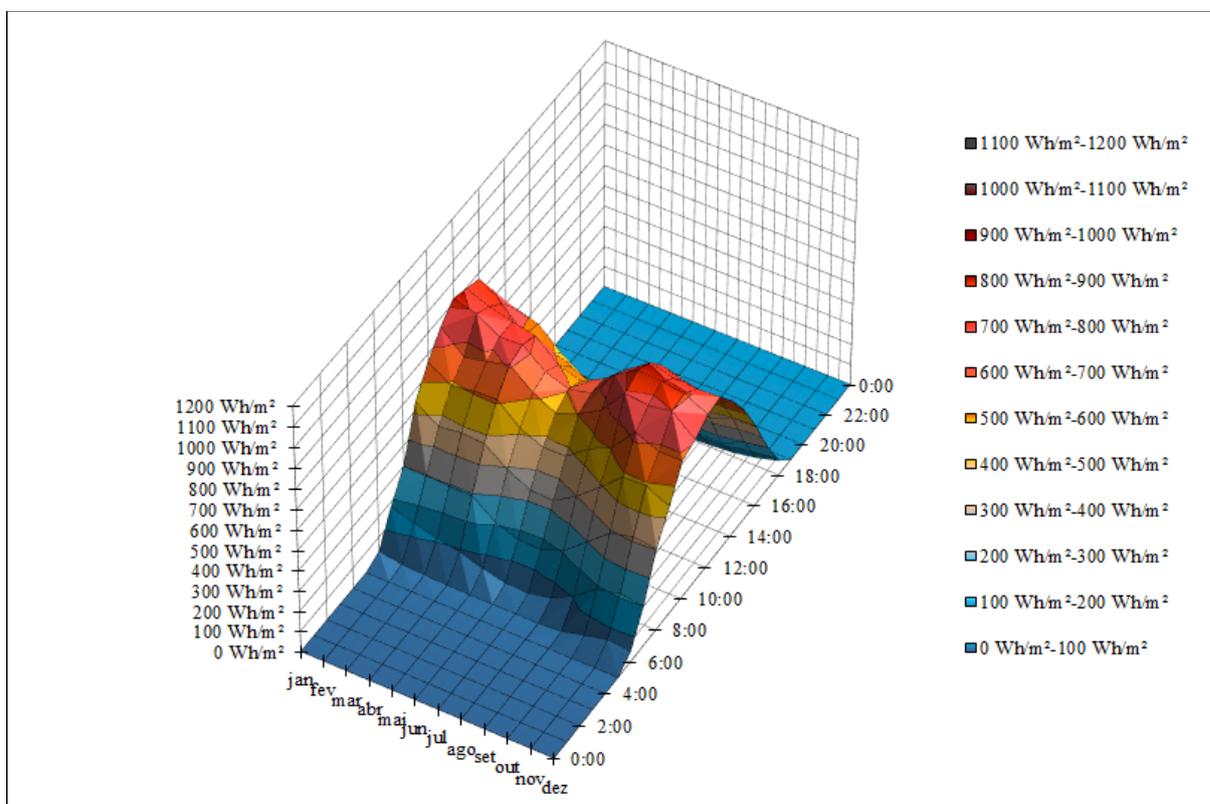


Figura 35: Irradiação solar global média de Campo Grande/MS



Veja como a temperatura média do ar é menor durante os meses de inverno no período da madrugada em Campo Grande/MS. Observe como a umidade relativa do ar é menor nos meses de inverno comparado as outras estações. Note como a distribuição da irradiação solar global média é relativamente uniforme ao longo do ano, com picos de intensidade nos meses de verão. As horas de Sol também são mais ou menos constantes ao longo do ano, com duração de 12h/dia (das 06:00h da manhã às 18:00h da tarde) e o ápice ocorrendo por volta do meio dia.

A Tabela 2 resume os valores mínimos, médias e valores máximos dos dados de clima analisados neste Roteiro para o município de Campo Grande/MS.



**ATENÇÃO!!!** Conhecer o tipo de arquivo climático e os parâmetros nele contidos, bem como saber como manipular e interpretar esses dados confere ao simulador uma maior autonomia no uso do programa de simulação computacional (não tenha uma postura passiva, procure entender os *inputs* utilizados para alimentar o *software*).

Tabela 2: Resumo dos dados de clima abordados no estudo para Campo Grande/MS

| Mês  | Temp. de bulbo seco<br>(°C) | Umid. relat.<br>(%) | Irradiação solar               |                                |                                | Vento         |                  |     |               |                  |      |               |                  |      |               |                  |      |      |  |
|------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|------------------|-----|---------------|------------------|------|---------------|------------------|------|---------------|------------------|------|------|--|
|      |                             |                     | direta<br>(Wh/m <sup>2</sup> ) | difusa<br>(Wh/m <sup>2</sup> ) | global<br>(Wh/m <sup>2</sup> ) | Norte         |                  |     | Sul           |                  |      | Leste         |                  |      | Oeste         |                  |      |      |  |
|      |                             |                     |                                |                                |                                | vel.<br>(m/s) | ocorrênc.<br>(h) | (%) | vel.<br>(m/s) | ocorrênc.<br>(h) | (%)  | vel.<br>(m/s) | ocorrênc.<br>(h) | (%)  | vel.<br>(m/s) | ocorrênc.<br>(h) | (%)  |      |  |
| jan. | min.                        | 18.00               | 34.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               |                  | 2.10 |               |                  | 1.50 |               |                  | 1.00 |      |  |
|      | méd.                        | 25.83               | 77.3                           | 196.63                         | 117.04                         | 261.87        | 4.52             | 404 | 54.3          | 4.98             | 77   | 10.3          | 5.44             | 187  | 25.1          | 4.52             | 76   | 10.2 |  |
|      | máx.                        | 35.00               | 100.0                          | 1023.00                        | 672.00                         | 1106.00       | 12.30            |     |               | 11.30            |      |               | 12.90            |      |               | 10.30            |      |      |  |
| fev. | min.                        | 18.60               | 42.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.50             |      |               | 0.50             |      |               | 1.00             |      |      |  |
|      | méd.                        | 24.86               | 77.2                           | 180.81                         | 114.86                         | 241.31        | 1.26             | 235 | 35.0          | 4.11             | 176  | 26.2          | 4.16             | 213  | 31.7          | 3.84             | 48   | 7.1  |  |
|      | máx.                        | 33.00               | 100.0                          | 987.00                         | 628.00                         | 1078.00       | 7.70             |     |               | 7.20             |      |               | 9.30             |      |               | 8.20             |      |      |  |
| mar. | min.                        | 17.80               | 41.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 1.00             |      |               | 0.40             |      |               | 1.40             |      |      |  |
|      | méd.                        | 25.24               | 76.0                           | 194.01                         | 93.44                          | 222.70        | 3.48             | 428 | 57.5          | 4.51             | 63   | 8.5           | 3.76             | 199  | 26.7          | 3.75             | 54   | 7.3  |  |
|      | máx.                        | 34.00               | 100.0                          | 986.00                         | 642.00                         | 1016.00       | 11.30            |     |               | 10.30            |      |               | 11.30            |      |               | 6.20             |      |      |  |
| abr. | min.                        | 12.00               | 26.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 1.70             |      |               | 0.70             |      |               | 0.70             |      |      |  |
|      | méd.                        | 25.12               | 69.8                           | 245.75                         | 63.48                          | 211.17        | 2.13             | 372 | 51.7          | 5.48             | 91   | 12.6          | 4.48             | 248  | 34.4          | 3.10             | 9    | 1.3  |  |
|      | máx.                        | 33.50               | 100.0                          | 972.00                         | 459.00                         | 977.00        | 10.30            |     |               | 11.30            |      |               | 13.40            |      |               | 7.20             |      |      |  |
| mai. | min.                        | 3.00                | 19.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.60             |      |               | 0.50             |      |               | 1.50             |      |      |  |
|      | méd.                        | 21.92               | 69.8                           | 215.46                         | 57.04                          | 177.66        | 2.82             | 255 | 34.3          | 4.35             | 73   | 9.8           | 4.22             | 388  | 52.2          | 3.22             | 28   | 3.8  |  |
|      | máx.                        | 32.00               | 100.0                          | 946.00                         | 445.00                         | 793.00        | 8.20             |     |               | 10.30            |      |               | 10.30            |      |               | 5.10             |      |      |  |
| jun. | min.                        | 10.00               | 21.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.50             |      |               | 0.50             |      |               | 2.10             |      |      |  |
|      | méd.                        | 21.78               | 65.3                           | 205.08                         | 50.79                          | 160.67        | 4.09             | 193 | 26.8          | 4.16             | 88   | 12.2          | 4.34             | 421  | 58.5          | 4.03             | 18   | 2.5  |  |
|      | máx.                        | 31.40               | 100.0                          | 928.00                         | 413.00                         | 725.00        | 9.30             |     |               | 9.60             |      |               | 11.80            |      |               | 6.20             |      |      |  |
| jul. | min.                        | 6.90                | 22.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 2.10             |      |               | 1.00             |      |               | 1.40             |      |      |  |
|      | méd.                        | 20.96               | 65.9                           | 213.24                         | 52.86                          | 171.24        | 3.06             | 220 | 29.6          | 5.51             | 122  | 16.4          | 6.13             | 378  | 50.8          | 4.83             | 24   | 3.2  |  |
|      | máx.                        | 32.00               | 100.0                          | 914.00                         | 494.00                         | 766.00        | 9.30             |     |               | 11.80            |      |               | 11.80            |      |               | 8.80             |      |      |  |
| ago. | min.                        | 10.00               | 21.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.70             |      |               | 0.50             |      |               | 0.70             |      |      |  |
|      | méd.                        | 23.73               | 54.9                           | 214.54                         | 68.96                          | 204.07        | 2.38             | 422 | 56.7          | 3.23             | 82   | 11.0          | 3.85             | 182  | 24.5          | 3.88             | 58   | 7.8  |  |
|      | máx.                        | 35.00               | 100.0                          | 904.00                         | 500.00                         | 900.00        | 10.30            |     |               | 7.20             |      |               | 12.90            |      |               | 10.30            |      |      |  |
| set. | min.                        | 11.00               | 20.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.80             |      |               | 0.50             |      |               | 1.50             |      |      |  |
|      | méd.                        | 23.48               | 62.0                           | 223.14                         | 82.80                          | 236.27        | 2.87             | 232 | 32.2          | 5.34             | 186  | 25.8          | 5.04             | 280  | 38.9          | 4.11             | 22   | 3.1  |  |
|      | máx.                        | 37.00               | 100.0                          | 924.00                         | 567.00                         | 1021.00       | 11.30            |     |               | 10.80            |      |               | 10.30            |      |               | 6.20             |      |      |  |
| out. | min.                        | 17.00               | 17.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 0.40             |      |               | 1.00             |      |               | 0.50             |      |      |  |
|      | méd.                        | 25.13               | 61.9                           | 194.85                         | 108.28                         | 249.73        | 3.20             | 292 | 39.2          | 4.53             | 292  | 39.2          | 4.48             | 97   | 13.0          | 3.31             | 63   | 8.5  |  |
|      | máx.                        | 35.80               | 100.0                          | 967.00                         | 618.00                         | 1061.00       | 12.90            |     |               | 10.30            |      |               | 9.30             |      |               | 7.20             |      |      |  |
| nov. | min.                        | 14.00               | 27.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 1.50             |      |               | 1.50             |      |               | 1.00             |      |      |  |
|      | méd.                        | 25.08               | 65.9                           | 186.55                         | 118.48                         | 255.72        | 2.32             | 283 | 39.3          | 4.67             | 141  | 19.6          | 4.71             | 211  | 29.3          | 4.55             | 85   | 11.8 |  |
|      | máx.                        | 36.00               | 100.0                          | 891.00                         | 719.00                         | 1086.00       | 9.30             |     |               | 10.30            |      |               | 9.30             |      |               | 9.30             |      |      |  |
| dez. | min.                        | 17.00               | 25.0                           | 0.00                           | 0.00                           | 0.00          | 0.00             |     |               | 1.00             |      |               | 1.00             |      |               | 0.70             |      |      |  |
|      | méd.                        | 25.39               | 74.8                           | 174.46                         | 121.42                         | 249.90        | 2.57             | 420 | 56.5          | 4.46             | 111  | 14.9          | 3.93             | 147  | 19.8          | 4.13             | 66   | 8.9  |  |
|      | máx.                        | 34.40               | 100.0                          | 1005.00                        | 635.00                         | 1120.00       | 8.20             |     |               | 15.40            |      |               | 7.50             |      |               | 11.60            |      |      |  |

Você sabia que as variáveis climáticas podem ser aplicadas para diversas finalidades? Estudar o clima possibilita determinar os limites da zona de conforto térmico das edificações e definir as melhores estratégias de projeto passivo. Outrossim, viabiliza classificar a diversidade climática de todo um país e elaborar mapas de zoneamento climático para fins de eficiência energética do ambiente construído.

Nesse contexto, a simulação computacional é um mecanismo robusto para processar os dados climáticos e capaz de expressar as complexas interações entre o clima e o desempenho térmico e energético das edificações. Conforme vimos no segundo capítulo do Módulo I, essa capacidade fornece suporte à tomada de decisões em projeto para aplicação de estratégias de arquitetura bioclimática. A ferramenta permite que diversas possibilidades sejam consideradas concomitantemente (por exemplo, variar a geometria e orientação da edificação, o tamanho e a

disposição das aberturas, os materiais e componentes construtivos empregados etc.) em pouco tempo e quantas vezes forem necessárias.

Também vimos que a simulação computacional pode ser aplicada nas metodologias de zoneamento climático, tanto em sua concepção (definição das zonas climáticas) quanto para validá-los (aferição da precisão das zonas climáticas) (WALSH, CÓSTOLA, LABAKI, 2018; XIONG *et al.*, 2019; VERICHEV, ZAMORANO, CARPIO, 2019). Esta ainda é uma linha de pesquisa bastante nova e pouco explorada na literatura, mas muito importante, visto que os zoneamentos climáticos constituem um dos parâmetros de entrada para avaliação da eficiência energética em programas de certificação das edificações.

Caso queiras inteirar-se mais sobre esses assuntos, vá até o Apêndice relativo ao módulo II (ao final do manual).

## AGORA É COM VOCÊ



**É hora de praticar!!!** Expresse, graficamente, o clima de dois municípios, considerando as seguintes variáveis climáticas: temperatura de bulbo seco, umidade relativa, irradiação solar direta, difusa e global, velocidade e direção do vento. Para realização desta atividade, considere o seguinte procedimento:

- I) Baixe arquivos climáticos de municípios cujas condições climáticas sejam bem distintas (por exemplo, Curitiba e Manaus). A escolha do tipo de arquivo e da localidade é livre.
- II) Para cada arquivo, repita o procedimento demonstrado utilizando o *Weather Statistics and Conversions* do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> para obter um *.csv* de cada clima.
- III) No *Microsoft Excel* ou outro aplicativo de planilhas, abra cada um dos arquivos *.csv* e analise as variáveis climáticas por mês e por dia.
- IV) Divida os dados em dias e meses do ano, criando gráficos para as variáveis citadas no enunciado desta seção.
- V) Utilize os tipos de gráficos mais adequados para cada variável, sejam dados horários, diários ou mensais.
- VI) Calcule valores mensais médios, máximos e mínimos para cada parâmetro, de forma a representar os climas escolhidos.
- VII) Interprete, por meio de cartas bioclimáticas, os dados de arquivos climáticos referentes aos dois municípios escolhidos. Para realizar esta etapa, utilize algumas das ferramentas apresentadas no Apêndice do Módulo II (ao final do manual).
- VIII) Em seguida, responda:
  - *Se nenhuma estratégia for considerada, é esperável que haja conforto térmico para as edificações situadas nessas cidades durante quantas horas no ano?*
  - *Imagine que você foi contratado(a) para elaborar um projeto de uma edificação a ser construída nesses municípios. Quais estratégias de arquitetura bioclimática você aplicaria para proporcionar conforto aos futuros ocupantes dessas habitações durante praticamente o ano todo (considere pelo menos 95% do tempo)? Somente as estratégias de projeto passivo são suficientes para atingir esta meta? Ou faz-se necessário o uso de sistemas mecânicos de aquecimento ou arrefecimento da edificação?*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

CLARKE, J. **Energy simulation in building design**. 2 ed. London: Routledge, 2007.

ENERGYPLUS. Weather Data. Disponível em: < <https://energyplus.net/weather> >. Acesso em: 25/04/2020.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >.

KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acessado em: 03/05/2020.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2016.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2012a.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2012b.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2013.

SCHELLER, C. *et al.* **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE, UFSC, Florianópolis, 2015.

SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

VERICHEV, K.; ZAMORANO, M.; CARPIO, M. Assessing the applicability of various climatic zoning methods for building construction: Case study from the extreme southern part of Chile. **Building and Environment**, v. 160, 2019.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Performance-based validation of climatic zoning for building energy efficiency applications. **Applied Energy**, v. 212, p. 416-427, 2018.

XIONG, J. *et al.* A hierarchical climatic zoning method for energy efficient building design applied in the region with diverse climate characteristics. **Energy and Buildings**, v. 186, p. 355-367, 2019.



# MÓDULO III

---

## A PRIMEIRA SIMULAÇÃO

# NESTE MÓDULO VOCÊ APRENDERÁ

---

Chegou o momento de abriremos o *software EnergyPlus™* e “rodar” uma simulação. Neste módulo, você terá contato com as funcionalidades básicas do programa e seus componentes essenciais: o *EP-Launch* e os editores de arquivo *.idf* (*IDF Editor* e *Text Editor*), além de conhecer as unidades de medida das principais variáveis de entrada abarcadas pela ferramenta computacional.

Também veremos o “mínimo” de objetos necessários para executar uma simulação, corrigiremos erros (sim, erros) e verificaremos os dados de saída retornados pós-simulação. E aí, preparado(a) para sua primeira simulação?

## CAPÍTULO QUINTO

# CONHECENDO O “MÍNIMO” DO *ENERGYPLUS™*

---

Como qualquer programa computacional, o *EnergyPlus™* deve ser “alimentado” com alguns dados de entrada para produzir arquivos de saída. Vimos, no primeiro módulo, que a simulação do desempenho de uma edificação envolve a inserção de informações sobre o clima, arquitetura, componentes construtivos, sistemas de iluminação, equipamentos, as rotinas de uso e ocupação dos usuários etc.

Também vimos (agora no segundo módulo) que esses parâmetros só são “reconhecidos” pelo programa computacional se inseridos em arquivos de formato específico. Sabemos que o arquivo de entrada que contém todos os dados de clima em formato padronizado possui formato “.epw” (*EnergyPlus™ Weather*).

Com relação às informações relativas à edificação, o “arquivo de entrada” que contém todos os dados do modelo possui extensão “.idf” (*Intermediate Data Format*) e, juntamente com o .epw, formam os dois arquivos de entrada essenciais para qualquer tentativa de simulação no *EnergyPlus™*.

Esses arquivos de entrada, por sua vez, podem ser criados, editados e revisados em um “programa” à parte fornecido com a instalação do *EnergyPlus™*: o *IDF Editor*. O *IDF Editor* pode ser executado a partir de um atalho no diretório principal do *EnergyPlus™* (criado como parte da instalação).

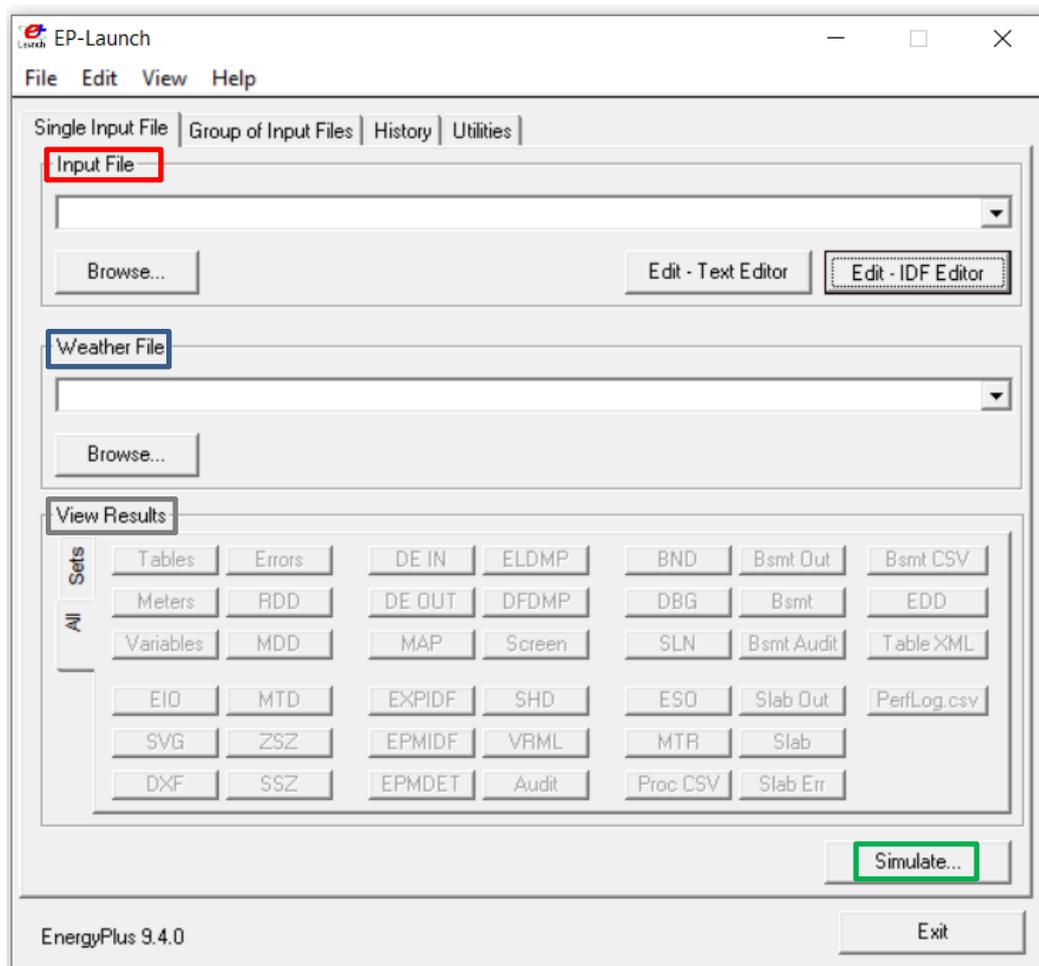
Outra maneira de executar o *IDF Editor* é por meio do *EP-Launch*, um componente opcional do *EnergyPlus™* que facilita aos usuários selecionar os arquivos de entrada, rodar as simulações e visualizar as saídas.

### 5.1 O EP-LAUNCH

O *EP-Launch* é um componente do *EnergyPlus™* exclusivo aos usuários do sistema *Windows*. Você pode acessá-lo a partir do diretório (pasta principal) do *EnergyPlus™* ou com

uma simples pesquisa no “Menu Iniciar”. Uma vez localizado, clique duas vezes no ícone do aplicativo para abri-lo. A seguinte interface do utilizador deverá aparecer:

Figura 36: Interface de apresentação do *EP-Launch*



Note que há uma série de “botões”. Por hora, atentemo-nos aos destacados na Fig. 36:

### *Input File*

Campo relativo ao arquivo de entrada contendo todas as informações da edificação modelada, no formato *.idf*. Para localizar e selecionar um arquivo *.idf*, basta clicar no botão *Browse*. Para editar o arquivo de entrada, há os botões *Edit - Text Editor*, que abrirá um editor de textos simples (e.g. o Bloco de Notas do Windows) e o *IDF Editor*, um editor "inteligente" que lê o *EnergyPlus™ Data Dictionary (IDD)* e permite criar/editar arquivos *.idf*.



## Weather File

Campo relativo ao arquivo climático de entrada no formato *.epw*. Para localizar o *weather file* em seu computador, basta clicar em *Browse*.

## Simulate

Botão que acionado inicia o processo de simulação. Depois de “rodar”, é exibida uma janela descrevendo o status de execução (*EnergyPlus™ Run Status*), contendo informações sobre o caminho dos arquivos de entrada (*Input File.idf* e *Weather File.epw*), o log de erros e o tempo decorrido até a conclusão da simulação.

## View Results

Este campo contém diversos botões, sendo que cada qual funciona como um “atalho” para arquivos disponíveis à visualização, os quais podem estar relacionados a relatórios das variáveis de saída (*outputs*) disponíveis na execução da simulação (RDD), planilhas de resultados (*Tables*), lista de erros (*Errors*) e novos arquivos produzidos após a simulação.



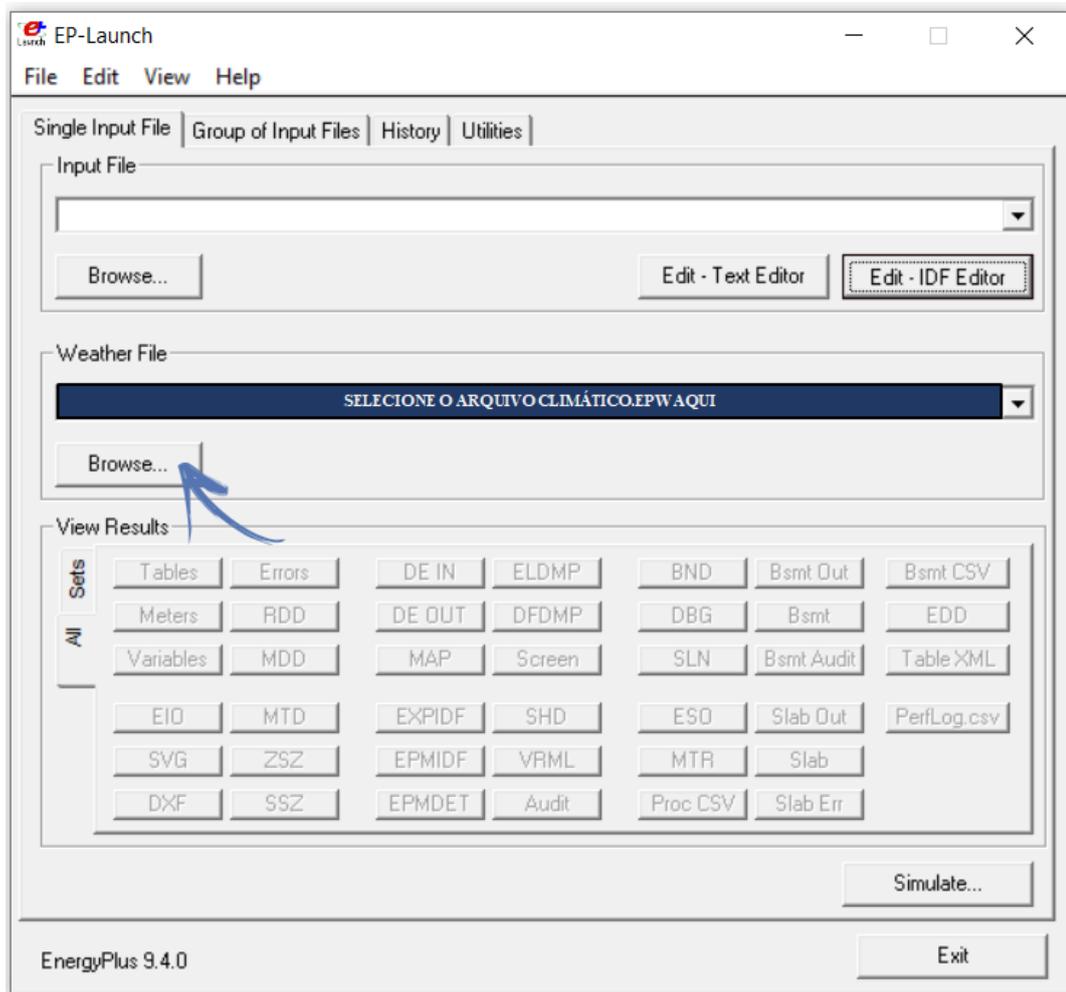
**Para saber mais** sobre os componentes e a função de cada botão do *EP Launch*, consulte o manual *Getting Started* (DOE, 2020a) ou faça buscas em base de dados da internet, como o site da empresa *Big ladder*, disponível em: < <https://bigladdersoftware.com/> >.

Portanto, lembrando: para “rodar” uma simulação no *EnergyPlus™*, dois *inputs* são necessários: um contendo os dados do clima (*.epw*) e outro contendo todas as informações da edificação (*.idf*).

### 5.1.1 Inserindo os arquivos de entrada no *EnergyPlus™*

O arquivo climático de entrada (*Weather File.epw*) pode ser inserido a partir do “botão” *Browse...* (conforme a Figura 37).

Figura 37: Selecionando o arquivo climático de entrada



Analogamente, o arquivo de entrada (.idf) pode ser inserido no campo *Input File* a partir do botão *Browse...*, conforme ilustra a Figura 38.

Ao instalar o *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, alguns componentes são fornecidos opcionalmente (Figura 8 do Roteiro I-a), dentre os quais o *ExampleFiles*. O *ExampleFiles* reúne uma série de arquivos de exemplo (Figura 39) que demonstram o uso e modelagem de diversos recursos do programa. Os arquivos de exemplo podem ser acessados em uma pasta no diretório do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

Procure acompanhar as explicações em seu computador. Para tanto, escolha um dos arquivos da pasta *ExampleFiles*. Recomendamos utilizar o “*Minimal.idf*”. Esse arquivo contém as especificações mínimas para rodar uma simulação. Aproveite também para selecionar o arquivo climático de entrada .epw que você baixou no módulo anterior.

Figura 38: Selecionando o arquivo IDF de entrada

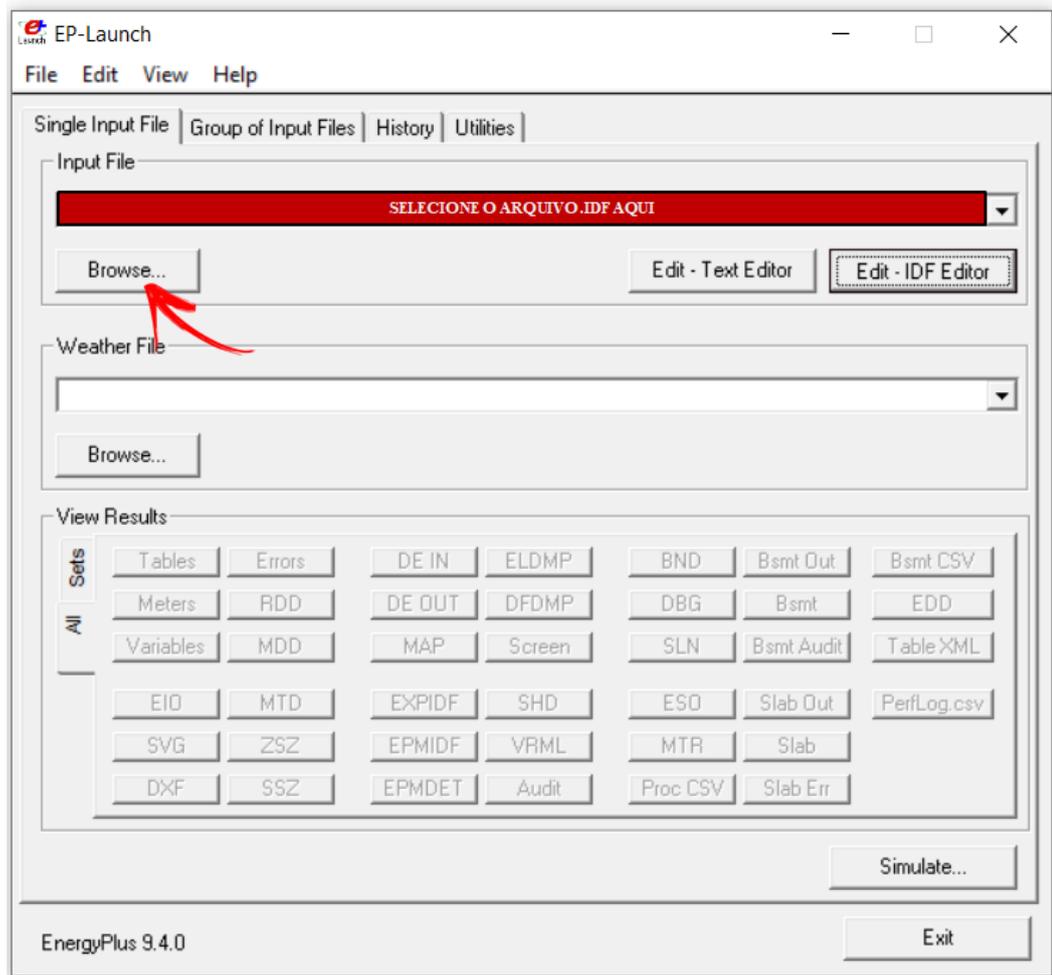


Figura 39: Opções disponíveis no *ExampleFiles*

> Este Computador > Acer (C:) > EnergyPlusV9-4-0 > ExampleFiles >

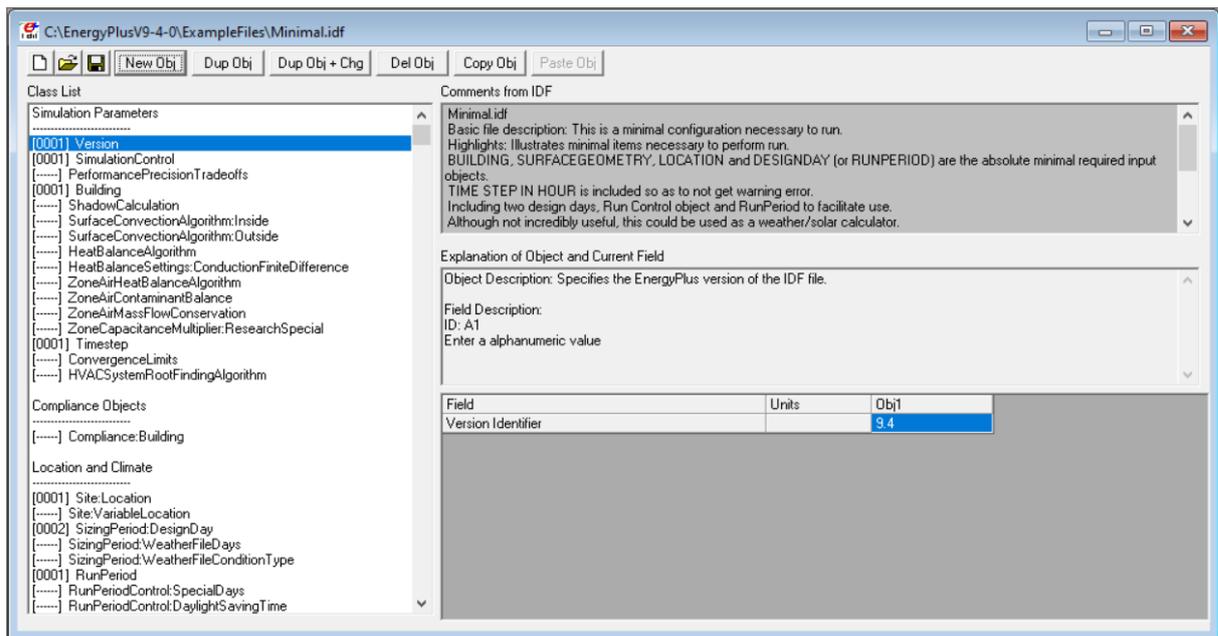
| Nome                           | Data de modificação | Tipo                  | Tamanho |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| BasicsFiles                    | 10/19/2020 2:37 PM  | Pasta de arquivos     |         |
| AdvancedOutput                 | 10/19/2020 2:37 PM  | Pasta de arquivos     |         |
| HVAC3ZoneMat-Const             | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input ...  | 7 KB    |
| HVAC3Zone-IntGains-Def         | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input ...  | 7 KB    |
| HVAC3ZoneGeometry              | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input ...  | 17 KB   |
| HVAC3ZoneChillerSpec           | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input ...  | 5 KB    |
| AbsorptionChiller_Macro        | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input ...  | 78 KB   |
| ZoneWSHP_wDOAS                 | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input D... | 71 KB   |
| ZoneVSWSHp_wDOAS               | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input D... | 97 KB   |
| ZoneSysAvailManager            | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input D... | 69 KB   |
| ZoneCoupledKivaWalkoutBasement | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input D... | 43 KB   |
| ZoneCoupledKivaSlab            | 9/29/2020 9:38 AM   | EnergyPlus Input D... | 24 KB   |

## 5.2 O IDF EDITOR



Uma vez inseridos ambos arquivos de entrada no *EP-Launch*, basta clicar em *Edit* – *IDF Editor* e, então, uma nova janela irá se abrir (Figura 40). Este é um ambiente para edição de arquivos *.idf*.

Figura 40: Apresentação do *IDF Editor*



Tão logo, é possível notar uma série de elementos. Iniciemos pelos três primeiros botões (você já deve imaginar para que servem, pois são “ícones universais”):

 → Cria um novo arquivo *.idf*;

 → Abre um arquivo *.idf*;

 → Salva o arquivo *.idf* aberto.

Ao lado, estão seis outros botões (*New Obj*, *Dup Obj+Chg*, ..., *Paste Obj*). Abaixo estão a *Class List* e o *Comments from IDF*, *Explanation of Object and Current Field* e os campos *Field*, *Units* e os *Obj1,2,...,n* etc.

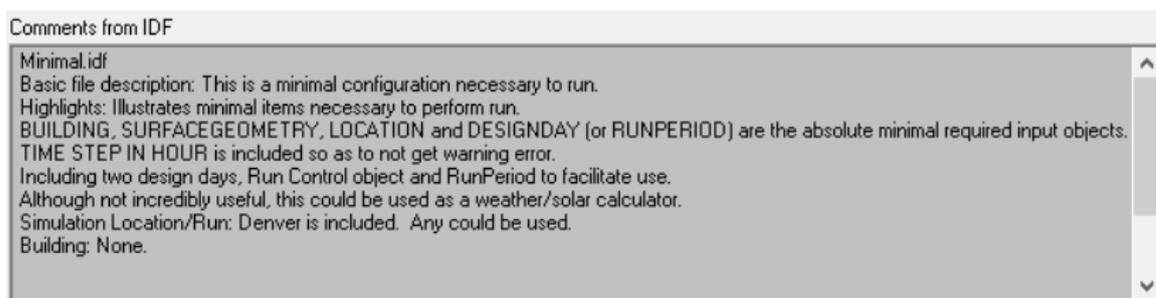
A fim de facilitar sua compreensão, elaboramos um resumo desses elementos. Ainda assim, são explicações gerais para que você não fique “perdido” nesse primeiro contato com a interface gráfica do programa. Para mais informações, consulte os manuais de referência do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> (DOE, 2020a), disponíveis em um atalho no menu [Help](#) .

### 5.2.1 O *Comments from IDF*

O *Comments from IDF* apresenta uma descrição básica do arquivo *.idf* de entrada (*basic file description*), que no caso do *Minimal* é: “*This is a minimal configuration necessary to run*”, ou seja, **esta é a configuração mínima necessária para “rodar”** (uma simulação).

Note que adiante aparecem outros comentários acerca da configuração do *Minimal*, com destaque para o fato de que **o arquivo não contém nenhuma informação sobre um edifício** e que a localidade pré-definida para simulação é a cidade norte-americana de Denver (conforme ilustra a Figura 41).

Figura 41: Descrição do arquivo *Minimal.idf*



Mas afinal, qual seria essa “configuração mínima”? Vamos visualizá-la a partir da *Class List*.

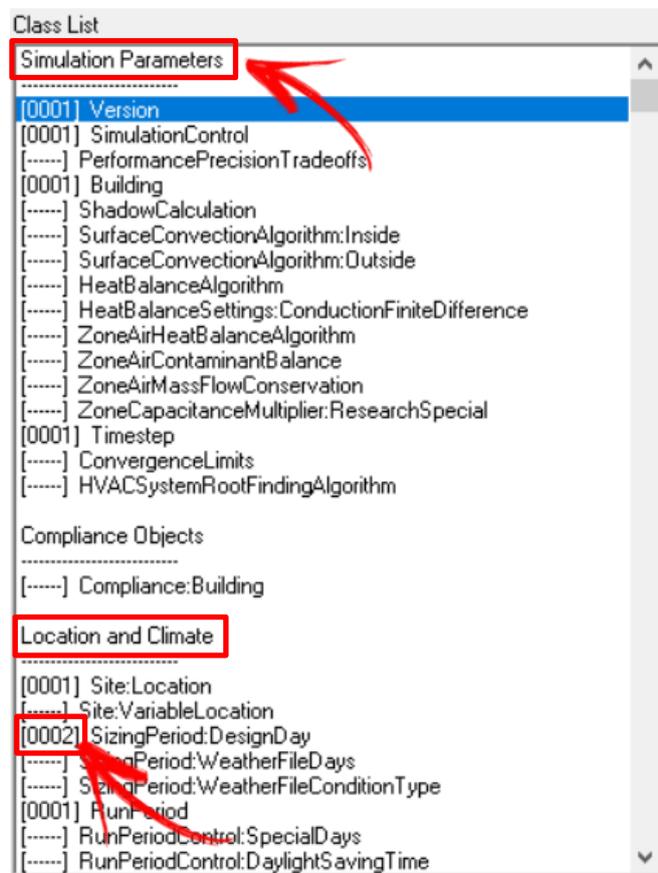
## 5.2.2 A Class List

A *Class List* reúne, de maneira organizada, todos os grupos de objetos do *IDF Editor* potencialmente utilizáveis em uma simulação.

Uma classe é composta por um grupo de objetos. Veja, por exemplo, que no primeiro grupo *Simulation Parameters* estão elencadas as classes de objetos em que são definidos os parâmetros da simulação (Figura 42). Abaixo, em *Location and Climate* estão reunidos os objetos relativos às condições ambientais para simulação e assim por diante.

Para identificar quais classes configuradas no arquivo *.idf*, observe dentro dos colchetes, visto que eles contêm a quantidade de objetos em uso. Veja, por exemplo, que há dois objetos [0002] dentro da classe *SizingPeriod:DesignDay*. Procure acessar as diferentes classes para visualizar a variabilidade dos objetos que podem ser editados.

Figura 42: Explorando a *Class List*

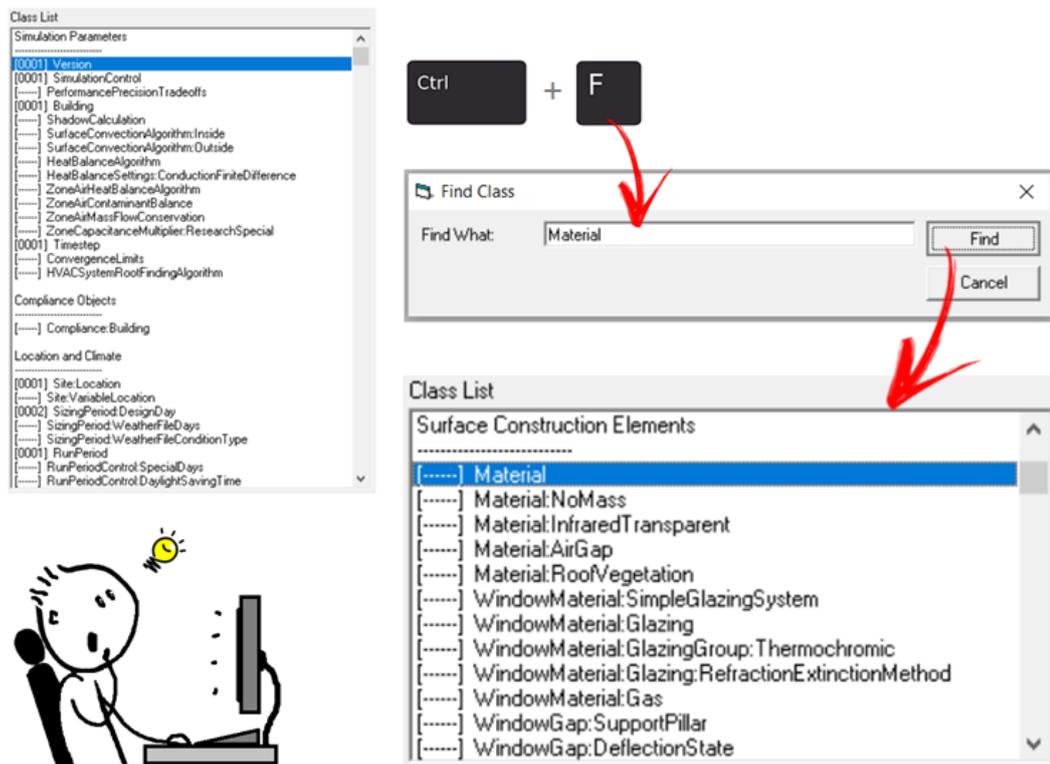


A *Class List* é um tanto quanto extensa. Em vista disso, imagine quão difícil pode ser localizar rapidamente uma classe específica. Ademais, em meio a tantas opções, como você faria para não se perder, ou, ainda, como ter uma visão restrita das classes de objetos que estão em uso?

Convenhamos que olhar item por item não é a melhor das soluções. Para tanto, há alguns atalhos que lhe ajudarão muito a se organizar e agilizar seu trabalho no *IDF Editor*, comecemos por dois deles:

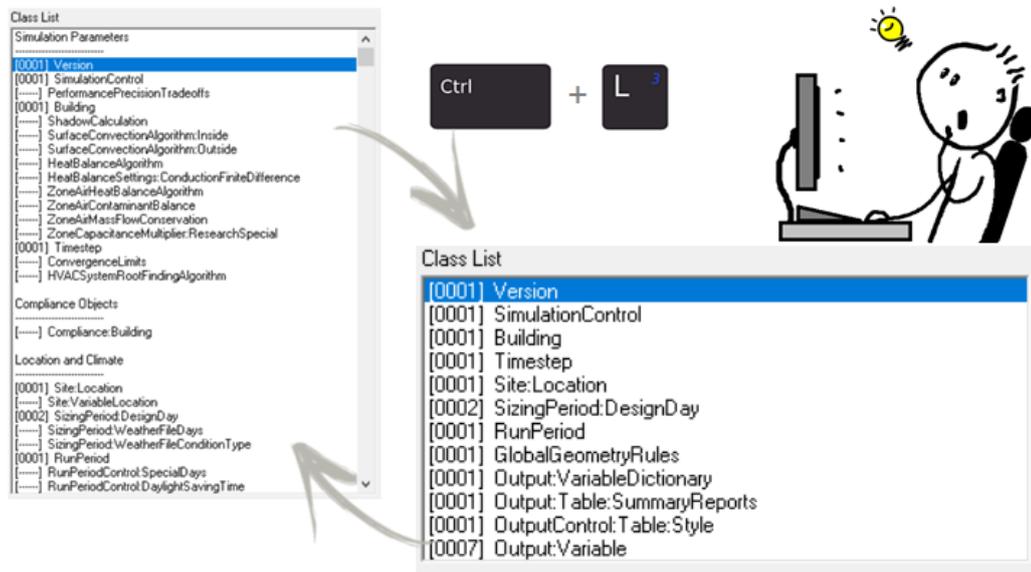
- IX) **CTRL + F** → Pressione *Ctrl* + *F* para localizar uma classe de objetos. Como exemplo, considere a busca pela palavra-chave “*Material*” no *Find Class*. Depois, basta clicar em *Find* para iniciar a busca (Figura 43).

Figura 43: Demonstração do atalho CTRL + F



- X) **CTRL + L** → Pressione *Ctrl* + *L* para visualizar somente as classes de objetos que estão sendo utilizadas no *Minimal.idf*. Caso deseje retornar a todos os grupos de objetos, use o CTRL+L novamente.

Figura 44: Demonstração do atalho CTRL + L



### 5.2.3 Os botões *New Obj*, *Dup Obj*, ..., *Paste Obj*

Bastante intuitivos, esses botões são utilizados para trabalhar com os objetos, cada qual com sua funcionalidade específica. Em suma:

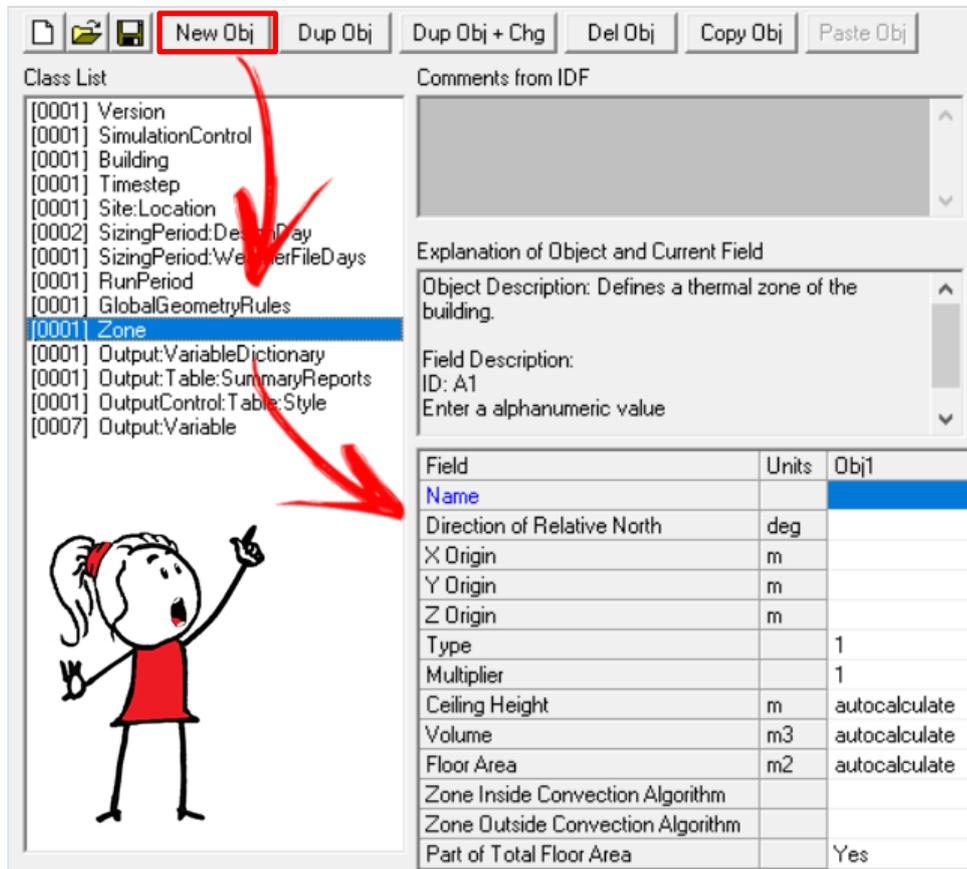
**New Obj**    **New Obj** (*New Object*)

Esse botão adiciona um novo objeto de acordo com a classe selecionada. Experimente tentar adicionar um objeto dentro de uma classe escolhida aleatoriamente.

Por exemplo, se usarmos o atalho do *Find Class* (*Ctrl + F*) para localizar a *class* “*Zone*” e clicarmos em *New Obj*, imediatamente um “[0001] *Zone*” surgirá na *Class List* do *Minimal*, conforme a Figura 45, indicando a adição desse novo objeto relativo a essa classe (lembre-se de utilizar o *Ctrl + L* para ter uma visão restrita das classes em uso).

Note que sempre há uma breve explicação sobre a função do objeto e do campo corrente (*Explanation of Object and Current Field*). No caso do *Zone*, o *Object Description* diz: “*Defines a thermal zone of the building*”, ou seja, define uma zona térmica do edifício. Você já sabe, mas não custa lembrar: o *Minimal* não contém nenhuma informação relacionada à edificação. Caso não tenha notado, dê uma olhada objeto por objeto na *Class List* do *Minimal*.

Figura 45: Testando o botão *New Obj*



Observe também no *IDF Editor* que (sempre!) há duas colunas precedendo quaisquer objetos: *Field* (que são os campos) e *Units* (unidades relativas aos campos). Os parâmetros dos campos e as unidades variam de acordo com a classe de objetos selecionada.

Então, alguns campos podem ser “alimentados” com caracteres de texto, como o campo *Name* do *Obj1* da classe *Zone* (Figura 45), enquanto outros *inputs* demandam a inserção de valores numéricos, caso do *X*, *Y*, *Z Origin* (coordenadas para os três eixos, em metros).

Além disso, alguns campos podem ser definidos com um valor “*default*” para auxiliar a configuração dos objetos.



**ATENÇÃO!!!** O *IDF Editor* não verifica a validade dos parâmetros de entrada, embora o programa destaque certos campos caso contenham uma referência inválida ou estiverem fora de um intervalo das grandezas. Logo, o resultado das simulações é dependente dos conhecimentos do usuário acerca dos *inputs* inseridos no programa.

Por hora, não se preocupe em editar os campos. Estamos aprendendo sobre o ambiente de trabalho do *IDF Editor* e conhecendo algumas das funcionalidades mais importantes do *EnergyPlus™*. Porém, em breve você colocará os conhecimentos adquiridos à prova!

Retomando ao assunto dos “botões”:

|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dup Obj</b>                                                                                                                                                                                                                      | <b>Dup Obj</b> ( <i>Duplicate Object</i> )                                                                                                                                                                                                                    |
| Duplica o objeto selecionado, incluindo as alterações realizadas nos campos. Para testá-lo, preencha com um nome qualquer o campo <i>Name</i> do <i>Obj1</i> do <i>Zone</i> que havíamos criado e depois clique em <i>Dup Obj</i> . |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                                                                                                                                                     | Semelhantemente, o <b>Dup Obj + Chg</b> ( <i>Duplicate Object and Change</i> ) duplica o objeto selecionado, com a diferença de que é possível editar previamente o campo de texto em uma janela à parte antes de efetivamente “colá-lo” como um novo objeto. |
| <b>Del Obj</b>                                                                                                                                                                                                                      | <b>Del Obj</b> ( <i>Delete Object</i> )                                                                                                                                                                                                                       |
| Remove (deleta) o objeto selecionado. Aproveite para remover o <i>Obj1</i> do <i>Zone</i> que havíamos criado anteriormente (e outros, caso tenha adicionado à <i>posteriori</i> ).                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Copy Obj</b>                                                                                                                                                                                                                     | <b>Copy Obj</b> ( <i>Copy Object</i> )                                                                                                                                                                                                                        |
| Copia o objeto selecionado, incluindo as alterações nos campos. O <i>Copy Obj</i> é muito útil para copiar informações para outros arquivos.                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Uma vez copiadas, para colar as informações (inclusive para um outro <i>.idf</i> ), basta pressionar o botão <b>Paste Obj</b> ( <i>Paste Object</i> ).                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                               |

Faça um teste, copie e cole um objeto qualquer dentro do próprio *Minimal* (*Ctrl + C* e *Ctrl + V*). Experimente também abrir outro arquivo *.idf* da pasta *Example Files* para colar as informações entre arquivos.

Não se esqueça de manter a configuração original do *Minimal* para nossa primeira simulação. Caso tenha realizado muitas alterações ou tenha perdido a configuração original, feche o arquivo sem salvá-lo e abra-o novamente a partir do *EP Launch*.

## 5.2.4 Outras funcionalidades

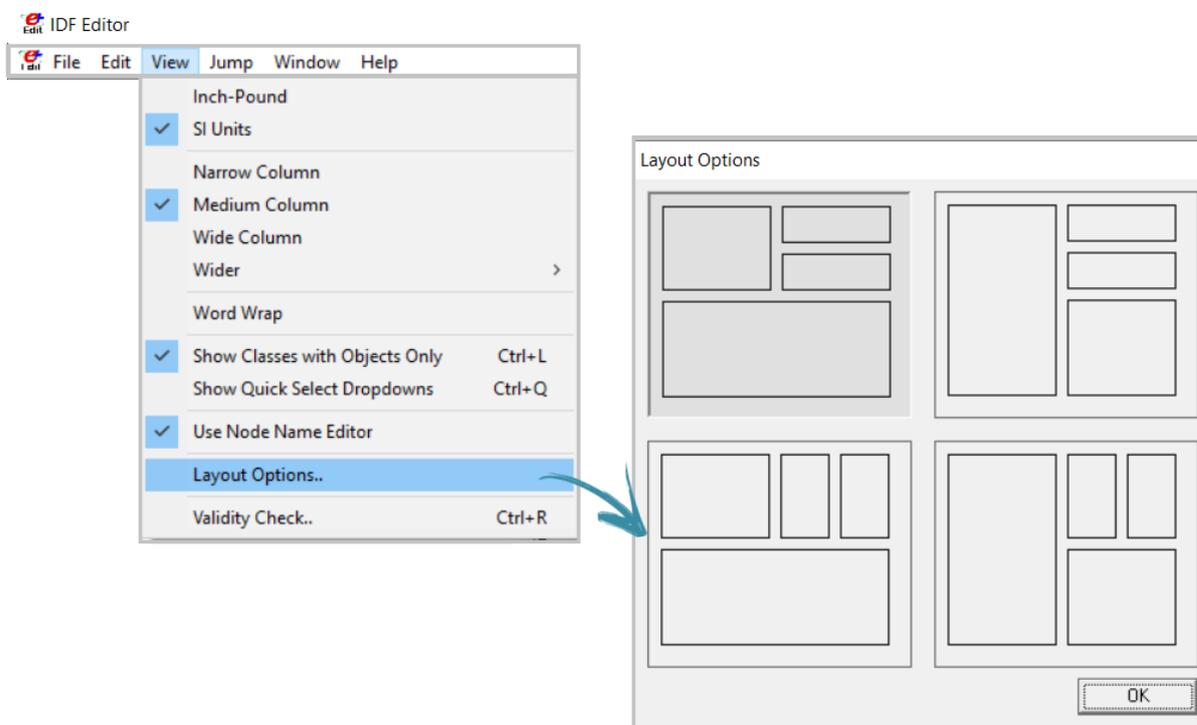
O Menu superior do *IDF Editor* contém os itens: **File Edit View Jump Window Help**

Clique em cada um deles e veja as opções, são bastante intuitivos. Procure atentar-se aos comandos de “atalhos” do programa. Por exemplo: *Ctrl + N* inicia um novo arquivo *.idf*; *Ctrl + O* abre um *.idf* existente e *Ctrl + S* salva o progresso.

Em *View*, é possível trocar o sistema de unidades entre o sistema internacional (SI) ou o padrão estadunidense. Além disso, é possível alterar a largura das colunas entre valores pré-definidos e o modo de visualização do *EP Launch*.

Experimente entre as opções de tamanho das colunas (*Narrow, ..., Wide*) e escolha a que mais lhe agradar. Ajuste também o modo de apresentação do *IDF Editor* em *Layout Options* (Figura 46).

Figura 46: Ajustando as opções de *Layout*





**DICA!!!** Também é possível alterar manualmente o tamanho das linhas e colunas dos elementos do *IDF Editor* (*Class List*, *Comments from IDF*, dos campos *Field* e *Units* e dos próprios objetos). Para ajustá-los, passe o *mouse* sobre as colunas até que surjam as setas direcionais  $\leftrightarrow$  ou  $\updownarrow$ , em seguida clique e arraste para mover o item desejado ou apenas dê um duplo clique sobre a linha / coluna que o elemento ajustar-se-á automaticamente para a menor dimensão.

Por fim, restam os menus *Window*, também ajustável de acordo com as preferências do usuário entre algumas opções disponíveis e o *Help*, que pode ser usado para abrir os documentos de referência do *EnergyPlus™* e contém uma explicação sobre o *IDF Editor*. Além disso, você pode verificar no *Help* se há atualizações de *software* e outros arquivos no *EnergyPlus™*.

Com isso, encerramos a demonstração das ferramentas do *IDF Editor*. Agora, abriremos o *Minimal.idf* no ambiente do *Text Editor*, para que você possa também conhecer um pouco sobre essa outra possibilidade para visualizar e editar os arquivos de entrada *.idf*.

### 5.3 O TEXT EDITOR

Retorne ao *EP-Launch* e abra o *Minimal.idf* pelo *Text Editor*. Para isso, clique em *Edit – Text Editor*, conforme demonstrado na Figura 47.

Imediatamente, o *Minimal.idf* irá abrir em um ambiente de edição de textos (o editor varia dependendo do sistema operacional do seu computador). Por exemplo, para usuários de *Windows*, o arquivo poderá ser configurado no aplicativo do “Bloco de Notas” (Figura 48).

Note que o editor contém apenas as classes de objetos em uso. Aproveite para rolar o *mouse* e visualizar como estão configurados os objetos no seu editor de textos. Para maximizar sua compreensão sobre o “formato” utilizado para preenchimento dos campos (*field*) e unidades (*units*) no editor de textos, abra paralelamente o *Minimal* no *IDF Editor*, localize esses objetos na *Class List* e compare-os.

Figura 47: Abrindo o *Text Editor*

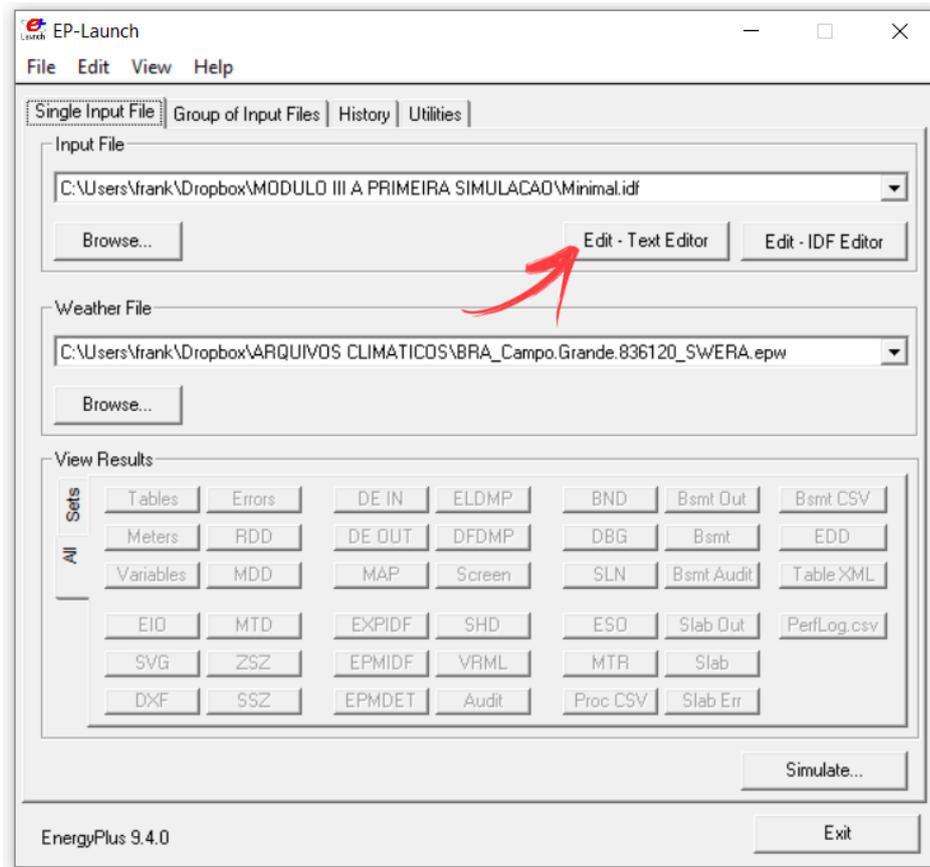
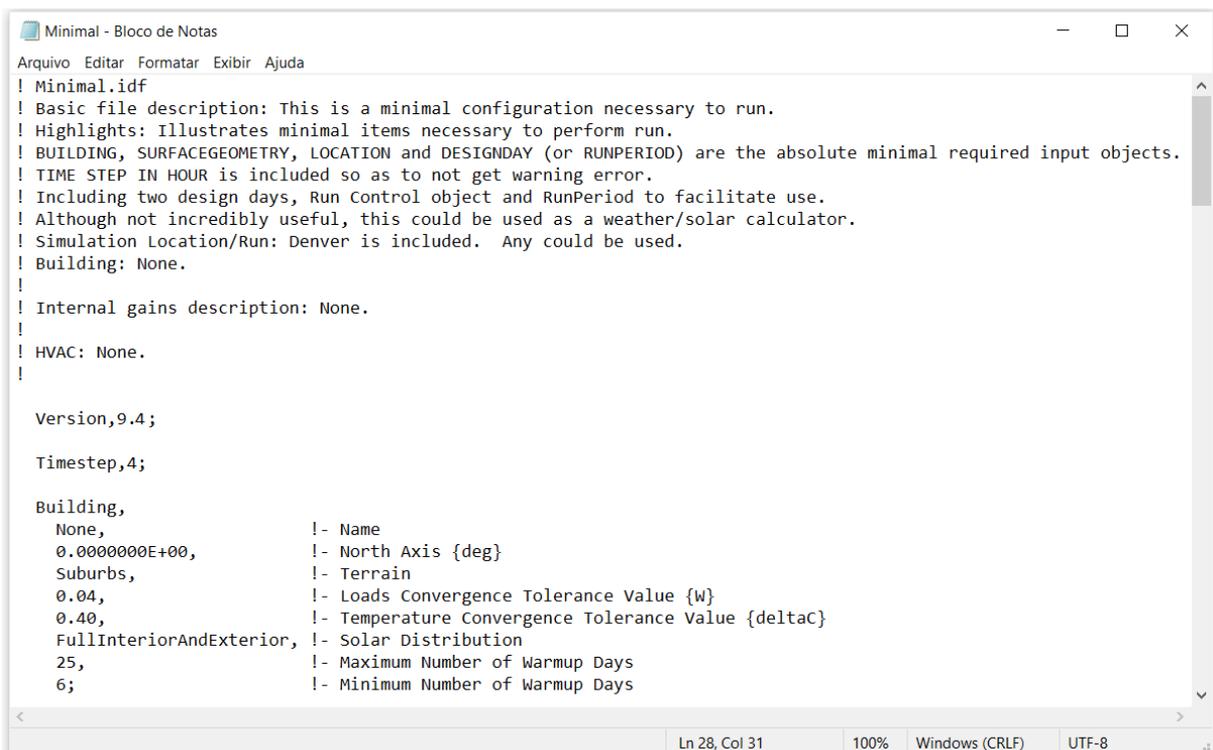


Figura 48: Configuração do *Minimal* no bloco de notas do Windows



**ATENÇÃO!!!** Embora seja muito prático, tenha em mente que no editor de textos é muito fácil apagar algo importante sem que você perceba. Então, tenha cuidado.



## 5.4 UNIDADES DE MEDIDA DO ENERGYPLUS™

No uso de qualquer *software*, é muito importante conhecer as unidades de medida para os principais parâmetros de entrada e de saída com que lida o programa. A Tabela 3 reúne as principais grandezas abarcadas pelo *EnergyPlus™*.

Tabela 3: Unidades de medida e respectiva abreviação utilizadas pelo *EnergyPlus™*

| Unidade de medida                                        | Abrev.         | Unidade de medida                                                              | Abrev.              |
|----------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <i>Angular degrees</i> (Ângulo)                          | deg            | <i>Heat flux</i> (Fluxo de calor)                                              | W/m <sup>2</sup>    |
| <i>Length</i> (Comprimento)                              | m              | <i>Specific heat</i> (Calor específico)                                        | J/kg-K              |
| <i>Area</i> (Área)                                       | m <sup>2</sup> | <i>Conductivity</i> (Condutividade térmica)                                    | W/m-K               |
| <i>Volume</i> (Volume)                                   | m <sup>3</sup> | <i>Diffusivity</i> (Difusividade térmica)                                      | m <sup>2</sup> /s   |
| <i>Time</i> (Tempo)                                      | s              | <i>Heat transfer coeficiente</i> (Coeficiente de transferência térmica)        | W/m <sup>2</sup> -K |
| <i>Frequency</i> (Frequência)                            | Hz             | <i>R-value</i> (Valor-R)                                                       | m <sup>2</sup> -K/W |
| <i>Temperature</i> (Temperatura)                         | C              | <i>Heating or cooling capacity</i> (Capacidade de aquecimento ou refrigeração) | W                   |
| <i>Absolute temperature</i> (Temperatura absoluta)       | K              | <i>Electric potential</i> (Potencial elétrico)                                 | V                   |
| <i>Temperature difference</i> (Diferença de temperatura) | δC             | <i>Electric current</i> (Corrente elétrica)                                    | A                   |
| <i>Speed</i> (Velocidade)                                | m/s            | <i>Illuminance</i> (Iluminância)                                               | lx                  |
| <i>Energy / Work</i> (Energia / Trabalho)                | J              | <i>Luminous flux</i> (Fluxo luminoso)                                          | lm                  |
| <i>Power</i> (Potência)                                  | W              | <i>Luminous intensity</i> (Intensidade luminosa)                               | cd                  |
| <i>Mass</i> (Massa)                                      | kg             | <i>Luminance</i> (Luminância)                                                  | cd/m <sup>2</sup>   |
| <i>Force</i> (Força)                                     | N              | <i>Vapor diffusivity</i> (Difusividade do vapor d'água)                        |                     |
| <i>Mass flow</i> (Fluxo de massa)                        | kg/s           | <i>Viscosity</i> (Viscosidade)                                                 | kg/m-s              |

Continuação da Tabela 3

| Unidade de medida                                 | Abrev.            | Unidade de medida                                                                                                    | Abrev.                         |
|---------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Volume flow</i><br>(Fluxo de volume)           | m <sup>3</sup> /s | <i>Dynamic Viscosity</i><br>(Viscosidade dinâmica)                                                                   | N-s/m <sup>2</sup>             |
| <i>Pressure</i> (Pressão)                         | Pa                | <i>Porosity</i> (Porosidade)                                                                                         | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| <i>Pressure difference</i> (Diferença de pressão) | Pa                | <i>Thermal gradient coeff for moisture capacity</i><br>(Coeficiente de gradiente térmico para capacidade de umidade) | kg/kg-K                        |
| <i>Specific enthalpy</i><br>(Entalpia específica) | J/kg              | <i>Isothermal moisture capacity</i> (Capacidade de umidade isotérmica)                                               | m <sup>3</sup> /kg             |
| <i>Density</i> (Densidade)                        | kg/m <sup>3</sup> |                                                                                                                      |                                |



**ATENÇÃO!!!** Note que a unidade de energia utilizada pelo programa é em Joules (J), enquanto que no Brasil utiliza-se convencionalmente (KWh). Outro caso similar ocorre com o calor específico, expresso em (J/Kg.K), enquanto que o usual é usar (kJ/Kg.K). Neste manual, trabalharemos com o “padrão” de unidades do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

A seguir, conheceremos mais a fundo a configuração dos objetos do *Minimal* e, então, o simularemos no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

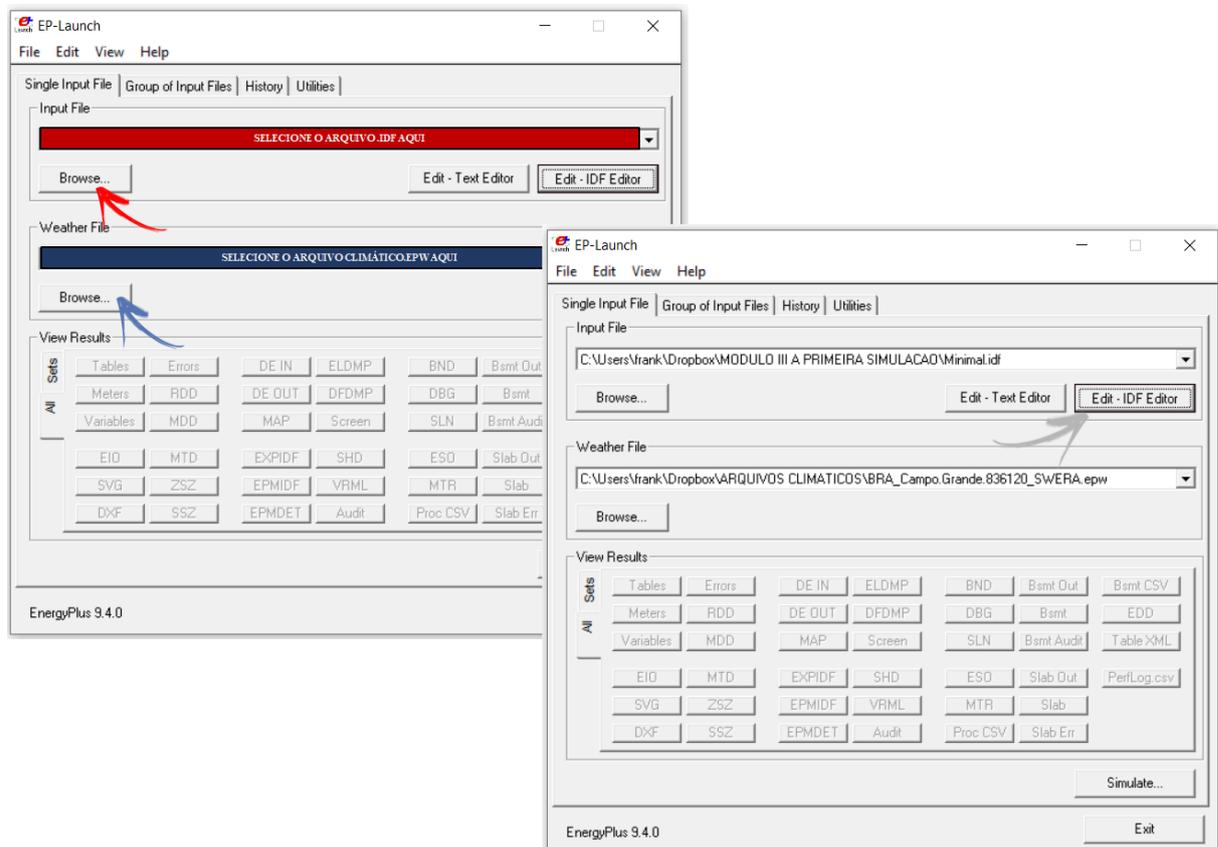
## ROTEIRO III-a

# CONHECENDO O *MINIMAL.IDF*

Antes de começarmos, recomendamos criar pastas em seu computador de acordo com os módulos. Por exemplo, *Curso de simulacao > Roteiro III > Simulando o Minimal*. Então, localize o arquivo *Minimal.idf*, buscando-o no Menu Iniciar ou no diretório do *EnergyPlus™* na pasta *ExampleFiles*. Depois, faça uma cópia do arquivo para a pasta que você criou.

Abra o *EP-Launch*. Então, clique no botão *Browse...* no campo *Input File* e selecione o arquivo *Minimal.idf*. Outra alternativa para abri-lo é por meio do menu *File > Select Input File*. Selecione também o arquivo climático *.epw* de entrada. Ensinamos as maneiras de baixá-lo no módulo anterior. Prosseguiremos utilizando o arquivo climático de Campo Grande / MS do tipo SWERA. Para localizá-lo, clique em *Browse...* no campo do *Weather File*, conforme a Fig. 49.

Figura 49: Inserindo os arquivos de entrada no *EP-Launch*



Depois de inserir ambos arquivos, clique no botão *Edit – IDF Editor* para abrir o *IDF Editor*. Iniciaremos as demonstrações das classes de objetos do *Minimal.idf*. A princípio, não alteraremos nada da configuração pré-definida do arquivo *.idf*, simulando-o do modo original.

## AS CLASSES DE OBJETO DO *MINIMAL.IDF*

No manual *Input Output Reference* (DOE, 2020b) é possível encontrar uma descrição completa dos parâmetros necessários para o preenchimento de cada campo dos objetos. Logo, realizar uma “tradução” do DOE (2020b) objeto por objeto é algo que não faremos.

Diante disso, abra o *Input Output Reference* em seu computador para acompanhar as explicações de objetos no *Minimal*. Utilize atalhos de localização em seu leitor de *pdf* para agilizar as buscas. E, a propósito, sinta-se à vontade para escolher um dos dois editores de IDF que lhe apresentamos no capítulo anterior para acompanhar os procedimentos.

## *SIMULATION CONTROL*

Uma vez que você esteja no ambiente de edição do *IDF Editor*, acesse a *Class List* do *Minimal* e clique sobre o *Simulation Control*.

Esta classe pertence ao grupo *Simulation Parameters* e nela é definido o modo como será a simulação: para determinados períodos de dimensionamento ou para o ano inteiro; se haverá dimensionamento de carga térmica do sistema AVAC por zona, sistema ou planta; e o número máximo de iterações do sistema AVAC.

Observe que do modo como está configurado o *Simulation Control* no *Minimal.idf*. Veja que a simulação será apenas para os períodos de dimensionamento<sup>22</sup> (*Run Simulation for Sizing Periods > Yes*), sem dimensionamento de AVAC (Figura 50).

---

<sup>22</sup> Períodos de dimensionamento representam intervalos de tempo menores do que a escala anual, e servem para que os sistemas AVAC sejam dimensionados previamente à simulação anual. Um período comum de dimensionamento é o dia de projeto (*design day*), o qual é caracterizado pela sua frequência de ocorrência e representa as condições mais significativas ao longo do período de verão e de inverno e permite quantificar os níveis de exigência na avaliação de desempenho térmico a ser efetuada na edificação (SIQUEIRA *et al.*, 2005).

Figura 50: *Simulation Control* do *Minimal.idf*

| Field                                           | Units | Obj1 |
|-------------------------------------------------|-------|------|
| Do Zone Sizing Calculation                      |       | No   |
| Do System Sizing Calculation                    |       | No   |
| Do Plant Sizing Calculation                     |       | No   |
| Run Simulation for Sizing Periods               |       | Yes  |
| Run Simulation for Weather File Run Periods     |       | No   |
| Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods    |       |      |
| Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes |       |      |

## BUILDING

Em *Building* são definidos os parâmetros gerais da edificação, como a orientação para o Norte, o tipo de entorno, valores de convergência de carga e temperatura, o tipo de distribuição solar, e parâmetros de *warmup*, respectivamente.

Figura 51: Configuração do *Building* para o *Minimal.idf*

| Field                                   | Units  | Obj1                    |
|-----------------------------------------|--------|-------------------------|
| Name                                    |        | None                    |
| North Axis                              | deg    | 0                       |
| Terrain                                 |        | Suburbs                 |
| Loads Convergence Tolerance Value       | W      | 0.04                    |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0.4                     |
| Solar Distribution                      |        | FullInteriorAndExterior |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25                      |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6                       |

Note que o eixo norte especificado no *Minimal* é de zero graus, ou seja, coincide com o norte verdadeiro. Perceba também que, dentre as opções de entorno, foi definido como sendo subúrbio (que também é o valor *default* para esse campo, conforme a Figura 52).

Figura 52: Configuração de entorno do *Minimal.idf*

| Field                                   | Units  | Obj1            |
|-----------------------------------------|--------|-----------------|
| Name                                    |        | None            |
| North Axis                              | deg    | 0               |
| Terrain                                 |        | Suburbs         |
| Loads Convergence Tolerance Value       | W      | Suburbs current |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | Suburbs default |
| Solar Distribution                      |        | Country choice  |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | City choice     |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | Ocean choice    |
|                                         |        | Urban choice    |
|                                         |        | <BLANK>         |

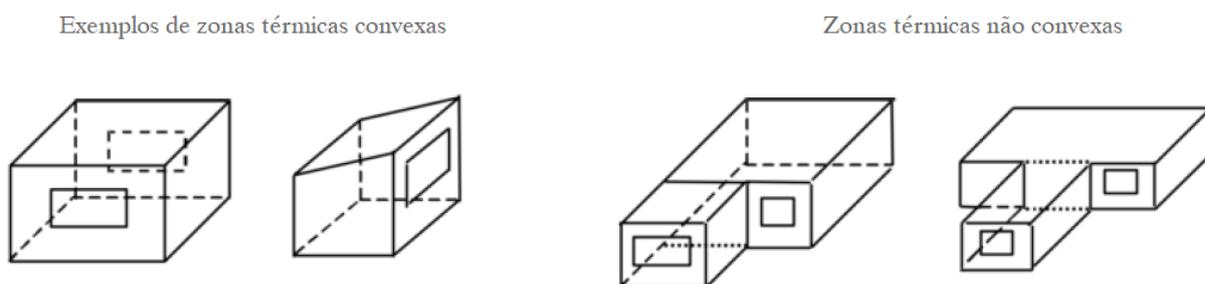
Veja que a Tabela *Values for “Terrain”* do DOE (2020b) apresenta as demais opções de entorno. A escolha do entorno afeta o modo como o vento atinge a edificação, assim como sua altura. Os modelos calculados para cada tipo de entorno podem ser visualizados no manual *Engineering Reference* (DOE, 2020c).

Quanto ao *Solar Distribution*, a definição desse parâmetro de entrada determina como o *EnergyPlus™* trata a radiação solar e as refletâncias do feixe de superfícies externas que atingem o edifício e, finalmente, entram na zona. Existem cinco opções, clique sobre o objeto neste campo e veja quais são.

O *Minimal* utiliza o *FullInteriorAndExterior*. Nesse caso, são calculados os padrões de sombra nas superfícies externas de todas as zonas, projetando os raios do sol através das janelas e considerando a quantidade de radiação de feixes que cai em cada superfície da zona térmica (piso, paredes, janelas).

Esteja atento às recomendações do DOE (2020b). Veja, por exemplo, que para utilizar o *Full Interior And Exterior* você deve ter certeza de que a zona do modelo é convexa. Abaixo, alguns exemplos de como seriam os ambientes (zonas) que ilustram esse conceito.

Figura 53: Exemplos de zonas térmicas convexas e não convexas



Fonte: DOE (2020b)

## ***TIMESTEP***

Outra classe do *Simulation Parameters*, em *Timestep* definimos o período de tempo da simulação. Por exemplo, se o *Timestep* = 1, então a simulação será de uma em uma hora. Logo, um *Timestep* = 60 indica que a simulação será de minuto em minuto. O valor *default* é 4 (ou seja, a cada 15 minutos).

Figura 54: *Timestep* do *Minimal.idf*

| Field                        | Units | Obj1 |
|------------------------------|-------|------|
| Number of Timesteps per Hour |       | 4    |

## **SITE:LOCATION**

No grupo *Location and Climate* encontra-se a classe *Location*, a qual serve para definir os dados de localização (latitude, longitude, fuso horário e altitude). Note que a configuração padrão do *Minimal* refere-se à cidade americana de Denver/Colorado.

Figura 55: Configuração do *Site:Location* do *Minimal*

| Field     | Units | Obj1                               |
|-----------|-------|------------------------------------|
| Name      |       | DENVER_STAPLETON_CO_USA_WMO_724690 |
| Latitude  | deg   | 39.77                              |
| Longitude | deg   | -104.87                            |
| Time Zone | hr    | -7                                 |
| Elevation | m     | 1611                               |

## **SIZINGPERIOD:DESIGNDAY**

Em suma, no *SizingPeriod:DesignDay* são definidos os parâmetros dos dias de projeto (*Design days*), principalmente para cálculo das cargas e dimensionamento do sistema AVAC. Observe o preenchimento dos campos no *Minimal* com os dados de Denver.

Essas informações podem ser extraídas diretamente do arquivo climático *ddy*. Para cada objeto são preenchidos campos numéricos relativos ao dia do mês. Em conjunto com o mês e informações de localização, determina a posição solar atual e os valores de radiação solar para cada hora do dia.

O campo *Day Type* especifica o tipo de dia de projeto. Observe que dois dos tipos de dia de projeto possíveis são *SummerDesignDay* (para arrefecimento) e *WinterDesignDay* (para aquecimento), considerando valores específicos das estações de verão e inverno da temperatura de bulbo seco.

Figura 56: Modo de configuração do *SizingPeriod:DesignDay* no *Minimal.idf*

| Field                                                        | Units            | Obj1            | Obj2            |
|--------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Name                                                         |                  | DENVER_STAPLE   | DENVER_STAPLE   |
| Month                                                        |                  | 12              | 7               |
| Day of Month                                                 |                  | 21              | 21              |
| Day Type                                                     |                  | WinterDesignDay | SummerDesignDay |
| Maximum Dry-Bulb Temperature                                 | C                | -20             | 34.1            |
| Daily Dry-Bulb Temperature Range                             | deltaC           | 0               | 15.2            |
| Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type                     |                  |                 |                 |
| Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name        |                  |                 |                 |
| Humidity Condition Type                                      |                  | Wetbulb         | Wetbulb         |
| Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb                      | C                | -20             | 15.8            |
| Humidity Condition Day Schedule Name                         |                  |                 |                 |
| Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb                           | kgWater/kgDryAir |                 |                 |
| Enthalpy at Maximum Dry-Bulb                                 | J/kg             |                 |                 |
| Daily Wet-Bulb Temperature Range                             | deltaC           |                 |                 |
| Barometric Pressure                                          | Pa               | 83411           | 83411           |
| Wind Speed                                                   | m/s              | 2.3             | 4               |
| Wind Direction                                               | deg              | 180             | 120             |
| Rain Indicator                                               |                  | No              | No              |
| Snow Indicator                                               |                  | No              | No              |
| Daylight Saving Time Indicator                               |                  | No              | No              |
| Solar Model Indicator                                        |                  | ASHRAEClearSky  | ASHRAEClearSky  |
| Beam Solar Day Schedule Name                                 |                  |                 |                 |
| Diffuse Solar Day Schedule Name                              |                  |                 |                 |
| ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance (taub)    | dimensionless    |                 |                 |
| ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance (taud) | dimensionless    |                 |                 |
| Sky Clearness                                                |                  | 0               | 1               |
| Maximum Number Warmup Days                                   |                  |                 |                 |
| Begin Environment Reset Mode                                 |                  |                 |                 |

## RUNPERIOD

Aqui definimos o período de simulação. Veja que vários períodos de execução podem ser modelados, com possibilidade de escolher apenas alguns dias ou o ano todo; se os feriados ou horário de verão serão considerados; se os dados de chuva e neve do arquivo climático serão utilizados etc.

Observe que o *Minimal* foi configurado para o período de um ano todo, considerando os feriados, horário de verão e os dados de chuva e neve.

A exceção é o *Apply Weekend Holiday Rule* (Figura 57). Esse campo considera que se o feriado cair em um fim de semana, ele será “observado” no dia da semana mais próximo da ocorrência do feriado (exemplo: se o feriado cair em um sábado, os usuários do edifício terão sua rotina de feriado na sexta-feira; e se cair num domingo, os usuários observarão o feriado na segunda-feira).

Como o *Apply Weekend Holiday Rule* está assinalado como “não”, essa opção não será considerada, ou seja, os feriados serão observados pelos usuários do edifício exatamente nas datas em que ocorrerem.

Figura 57: Configuração do *RunPeriod* no *Minimal*

| Field                                      | Units | Obj1         |
|--------------------------------------------|-------|--------------|
| Name                                       |       | Run Period 1 |
| Begin Month                                |       | 1            |
| Begin Day of Month                         |       | 1            |
| Begin Year                                 |       |              |
| End Month                                  |       | 12           |
| End Day of Month                           |       | 31           |
| End Year                                   |       |              |
| Day of Week for Start Day                  |       | Tuesday      |
| Use Weather File Holidays and Special Days |       | Yes          |
| Use Weather File Daylight Saving Period    |       | Yes          |
| Apply Weekend Holiday Rule                 |       | No           |
| Use Weather File Rain Indicators           |       | Yes          |
| Use Weather File Snow Indicators           |       | Yes          |
| Treat Weather as Actual                    |       |              |

## GLOBALGEOMETRYRULES

O *GlobalGeometryRules* encontra-se no grupo do *Thermal Zones and Surfaces*. Nos objetos da classe são definidas as regras geométricas, como será a marcação de coordenadas, se o sistema será relativo ou absoluto, etc.

Figura 58: Configuração de um objeto do *GlobalGeometryRules*

| Field                                         | Units | Obj1             |
|-----------------------------------------------|-------|------------------|
| Starting Vertex Position                      |       | UpperLeftCorner  |
| Vertex Entry Direction                        |       | CounterClockWise |
| Coordinate System                             |       | World            |
| Daylighting Reference Point Coordinate System |       |                  |
| Rectangular Surface Coordinate System         |       |                  |

## OUTPUT:VARIABLEDICTIONARY

Essa classe pertence ao grupo *Output Reporting* e nela é definido como as variáveis de saída serão exportadas. A configuração do *Minimal* para o *Key Field* é *Regular*, a qual produz uma listagem que mostra o tipo de variável: Zona ou AVAC, Média ou Soma.

Figura 59: Configuração do *Obj1* da classe *Output:VariableDictionary*

| Field       | Units | Obj1    |
|-------------|-------|---------|
| Key Field   |       | Regular |
| Sort Option |       |         |

### ***OUTPUT:TABLE:SUMMARYREPORTS***

Aqui são definidos quais relatórios de saídas serão produzidos. Clique sobre o *Obj1* para checar as opções (são inúmeras!).

O *Minimal* segue o caminho mais prático, que é o *AllSummary* (Figura 60), indicando que todos os relatórios de resumo descritos no DOE (2020b) serão produzidos, apesar de que essa opção não inclui nenhum dos relatórios de resumo de carga de componentes.

Figura 60: Configuração do *Output:Table:SummaryReports* do *Minimal.idf*

| Field         | Units | Obj1       |
|---------------|-------|------------|
| Report 1 Name |       | AllSummary |

### ***OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE***

O objeto da classe *OutputControl:Table:Style* controla a forma de tabelas por separador (primeiro campo) e alguma unidade de conversão (segundo campo).

O *Minimal* está configurado para o formato HTML (arquivo *.htm*), sendo os valores mostrados em formato tabular de fácil visualização.

A vantagem do HTML é que os resultados das simulações podem ser visualizados pelo navegador da internet, de modo que ao simular no *EnergyPlus™* novamente, basta atualizar a página para ver os novos resultados.

Figura 61: *Obj1* da classe *OutputControl:Table:Style*

| Field            | Units | Obj1 |
|------------------|-------|------|
| Column Separator |       | HTML |
| Unit Conversion  |       |      |

## OUTPUT:VARIABLE

O *Output:Variable* é uma classe de objetos muito importante, uma vez que, sem ela, nenhum parâmetro de saída é efetivamente calculado (exceto as variáveis do *SummaryReports*) e nenhum resultado é apresentado após a simulação.

O *EnergyPlus*<sup>TM</sup> comporta uma ampla gama de variáveis de saídas disponíveis ao usuário (escolha algum objeto e clique sobre o campo referente ao *Variable Name* para acessar a lista dos *outputs* que podem ser exportados). A visualização das variáveis possíveis de serem obtidas pode ser feita por meio do arquivo RDD (específico para cada simulação).



**ATENÇÃO!!!** Só aparecerão as opções na lista suspensa SE a simulação já foi realizada. Sem ela, não é gerado nem o arquivo RDD. E este arquivo contém somente as saídas relacionadas com o que foi modelado previamente no IDF. Ou seja, se nada de AVAC foi modelado, também não aparecerá nenhuma opção de saída relacionada à AVAC.

A Figura 62 apresenta os *outputs* específicos para o *Minimal* retornar após a simulação.

Figura 62: Configuração dos objetos do *Output:Variable* do *Minimal.idf*

| Field               | Units | Obj1         | Obj2         | Obj3         | Obj4       | Obj5       | Obj6        | Obj7         |
|---------------------|-------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|--------------|
| Key Value           |       | *            | *            | *            | *          | *          | *           | *            |
| Variable Name       |       | Site Outdoor | Site Outdoor | Site Outdoor | Site Solar | Site Solar | Site Direct | Site Diffuse |
| Reporting Frequency |       | Timestep     | Timestep     | Timestep     | Timestep   | Timestep   | Timestep    | Timestep     |
| Schedule Name       |       |              |              |              |            |            |             |              |

Estes parâmetros estão relacionados às temperaturas de bulbo seco e úmido e de ponto de orvalho, aos ângulos solar de altitude e azimute e às irradiações solar direta e difusa por área. Note que o programa dá a opção de selecionar apenas as variáveis de saída relacionadas ao que foi modelado. Como no *Minimal* não contém nenhum aspecto físico de uma superfície ou zona térmica, resta-nos apenas os parâmetros relativos ao clima do local analisado.

Com isso, fechamos nossa análise das classes de objetos do *Minimal.idf*. Finalmente, é chegada a hora de você rodar sua primeira simulação no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

## ROTEIRO III-b

# SIMULANDO O *MINIMAL.IDF* NO *ENERGYPLUS™*

Feche o *IDF Editor* ou o *Text Editor* e retorne ao *EP-Launch*. Não é necessário salvar nenhuma alteração no *Minimal*. Atenção: antes de simularmos, verifique se os “caminhos” dos arquivos de entrada (*.idf* e climático *.epw*) estão corretos nos campos *Input File* e *Weather File* (clique em *Browse...* para localizá-los novamente se os tiver mudado de pasta).

Clique no botão *Simulate*  (Fig. 63) e aguarde o programa rodar o processo (Figura 64).

Figura 63: Início da simulação do *Minimal.idf* a partir do *EP-Launch*

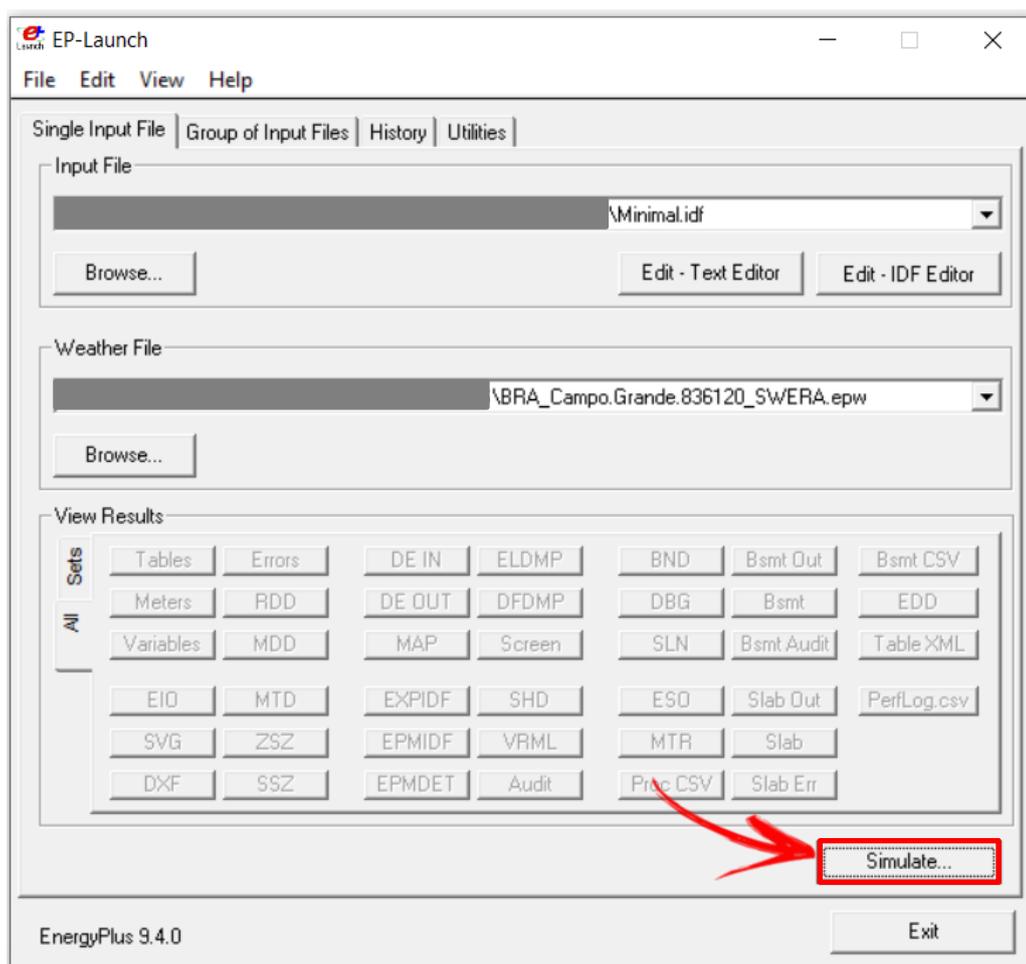
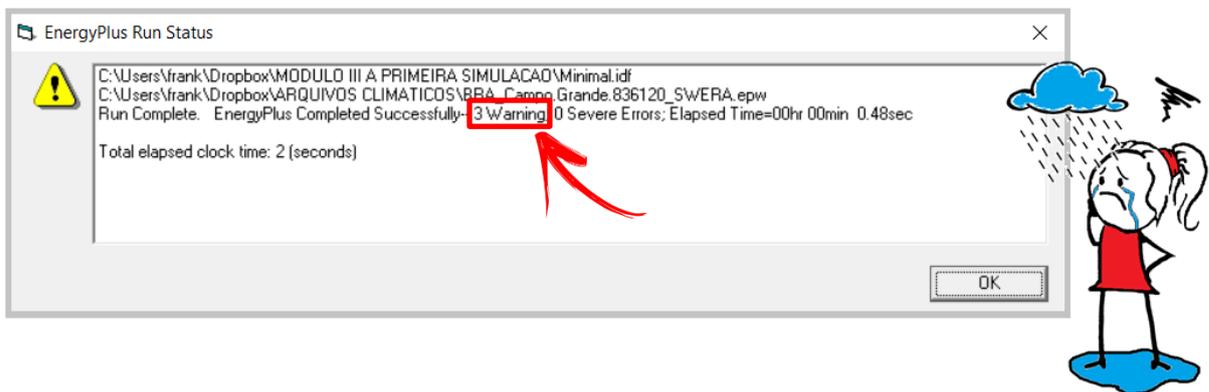


Figura 64: *EnergyPlus™ Process*

```
0001 - EnergyPlus Process
\\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\Minimal.expidf"+EPObjets.txt "C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO
2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\Minimal.expidf" /B
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST EPObjets.txt DEL EPObjets.
txt
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST "C:\Users\frank\Dropbox\ROTEI
RO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\Minimal.slaf" COPY "C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minim
al-idf\Minimal.slaf" SLABSurfaceTemps.TXT
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST GHTIn.idf DEL SLABSurfaceTem
ps.TXT
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF NOT EXIST GHTIn.idf GOTO :skipSlab
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST SLABSurfaceTemps.TXT COPY in
.idf+SLABSurfaceTemps.TXT in.idf /B
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST SLABSurfaceTemps.TXT COPY "C
:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\Minimal.expidf"+SLABSurfaceTemps.TXT "C:\Users\frank\D
ropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\Minimal.expidf" /B
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001>IF EXIST SLABSurfaceTemps.TXT DEL SLA
BSurfaceTemps.TXT
C:\Users\frank\Dropbox\ROTEIRO 2\RESULTADOS SIMULACOES\Minimal-idf\EPTemp-0000001">"C:\EnergyPlusV9-3-0\EnergyPlus"
EnergyPlus Starting
EnergyPlus, Version 9.3.0-baff08990c, YMD=2020.06.01 01:48
```

Após concluída a simulação, surgirá na tela de seu computador uma caixa de diálogos: o *EnergyPlus™ Run Status* (Figura 65), informando em essência os caminhos dos arquivos de entrada, o tempo decorrido no processo e avisos sobre o tipo de erro e sua quantidade.

Figura 65: *EnergyPlus™ Run Status*



Note que o *Run Status* retornou “3 Warning”. Mas o que isso significa?

Ora, o programa trabalha com diferentes “níveis” de erro: *Warning*, *Severe* e *Fatal*.

Nos dois primeiros tipos de erro a simulação roda normalmente. No caso do *Warning* (ou atenção) é recomendável ao usuário tomar nota de sua ocorrência, localizá-lo e corrigi-lo (quando necessário). Contudo, se registrada a ocorrência do *Severe error* (erro grave), o usuário obrigatoriamente deverá corrigi-lo, pois este é um atestado de que a simulação está incorreta.

O *Fatal error* (erro fatal), evidentemente, ocupa o último nível de erro. Diferentemente dos anteriores, sua ocorrência implica que a simulação será abortada imediatamente. Portanto, para tornar a simular normalmente, o erro deverá ser identificado e reparado.

Pois bem, entendido o que significa o *Warning*, resta agora descobrir o que os originou em nosso exemplo do *Minimal*, para, então, corrigi-los.

Para tanto, retorne ao *EP-Launch*, vá até o *View Results* e clique em *Errors* , conforme a Figura 66. Uma janela de texto (Bloco de Notas do *Windows*, por exemplo) será aberta (Figura 67), detalhando a causa dos *Warnings*.

Note que estão relacionados aos objetos *Location* e *Design Day*, uma vez que os mesmos estão configurados com base nos dados de Denver (como vimos anteriormente, é o padrão do *Minimal*). Entretanto, o arquivo climático de entrada (*Weather File*) que estamos utilizando é referente ao município de Campo Grande / MS.

Figura 66: Acessando o log de erros da simulação a partir do *EP-Launch*

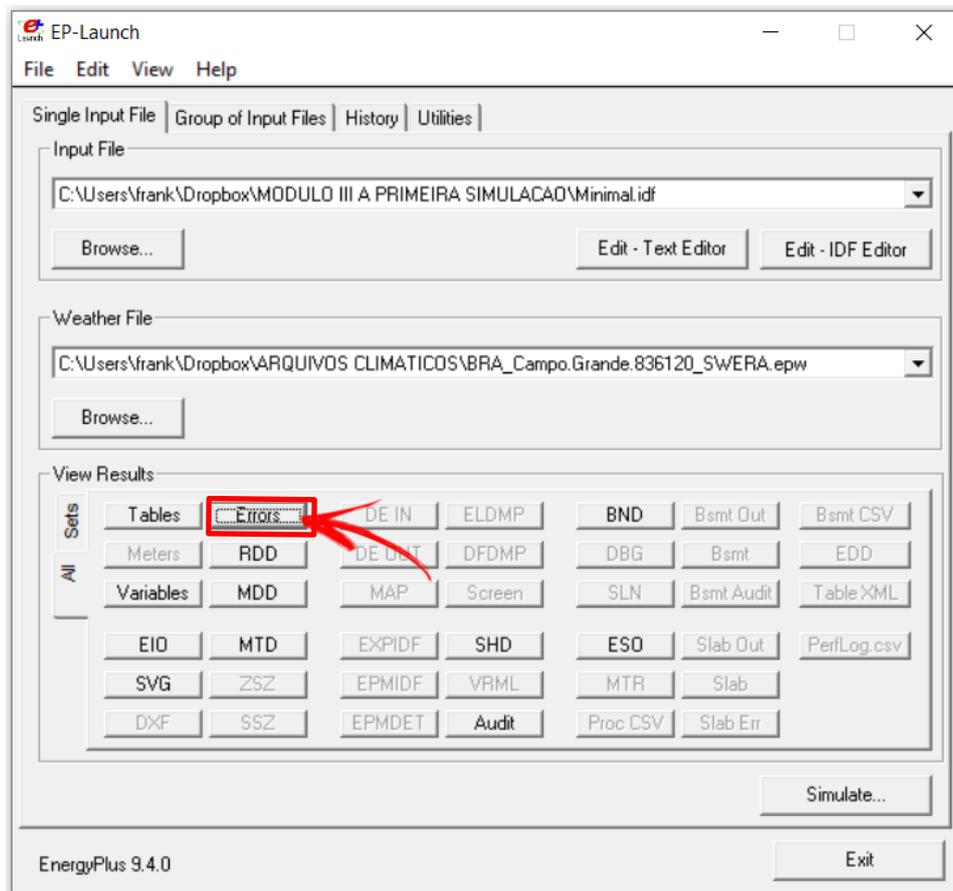
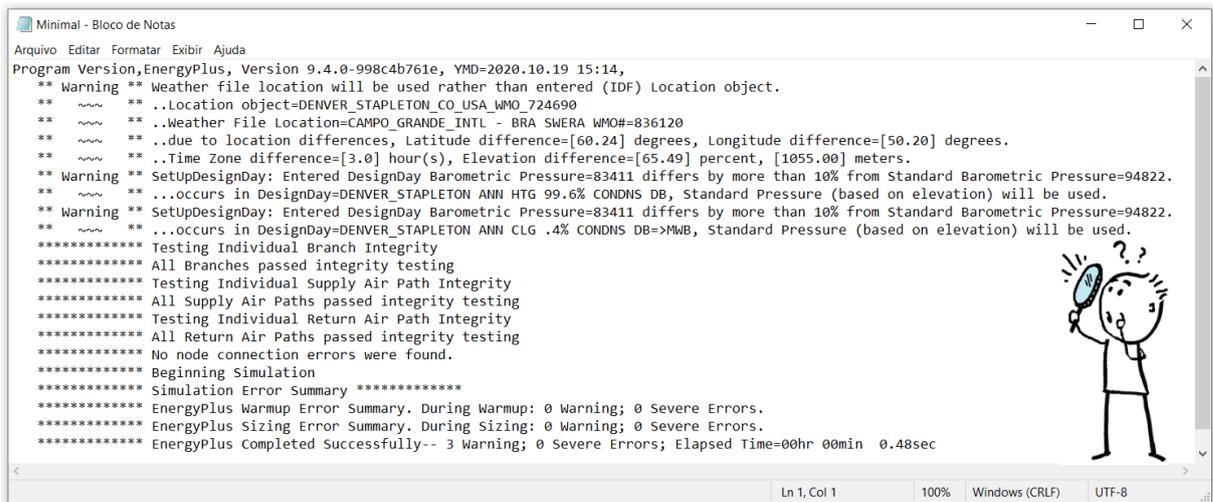


Figura 67: Log de erros do *Minimal*

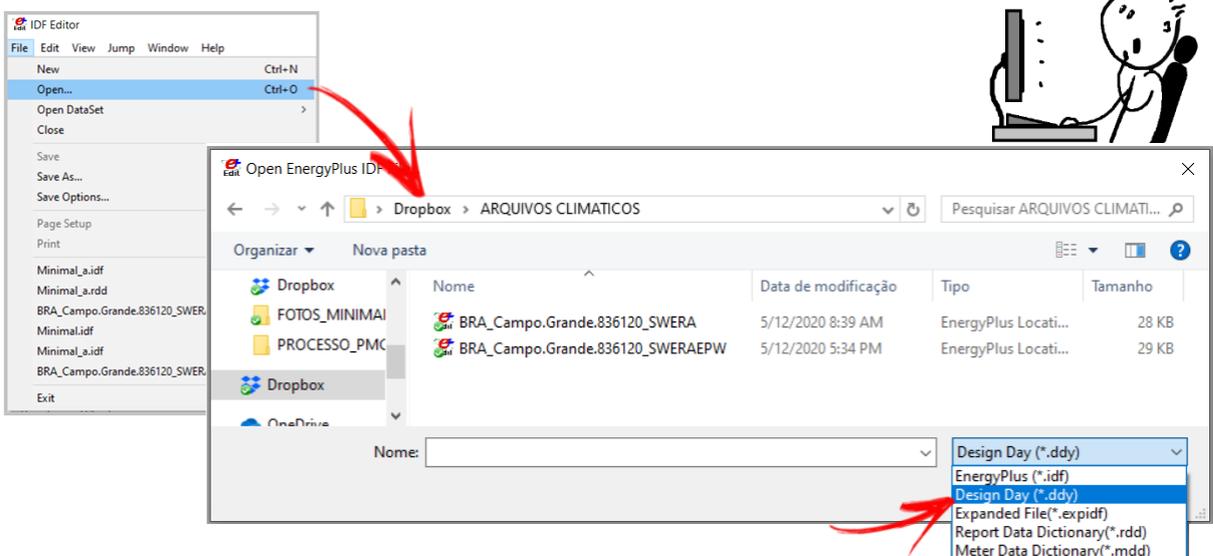


E agora, como corrigi-los?

Abra novamente o *Minimal* no *IDF Editor*. Lembra que no módulo anterior lhe pedimos para baixar o arquivo *.ddy* (*EnergyPlus Location and Design Day Data*) de Campo Grande/MS? Pois bem, chegou a hora de usá-lo.

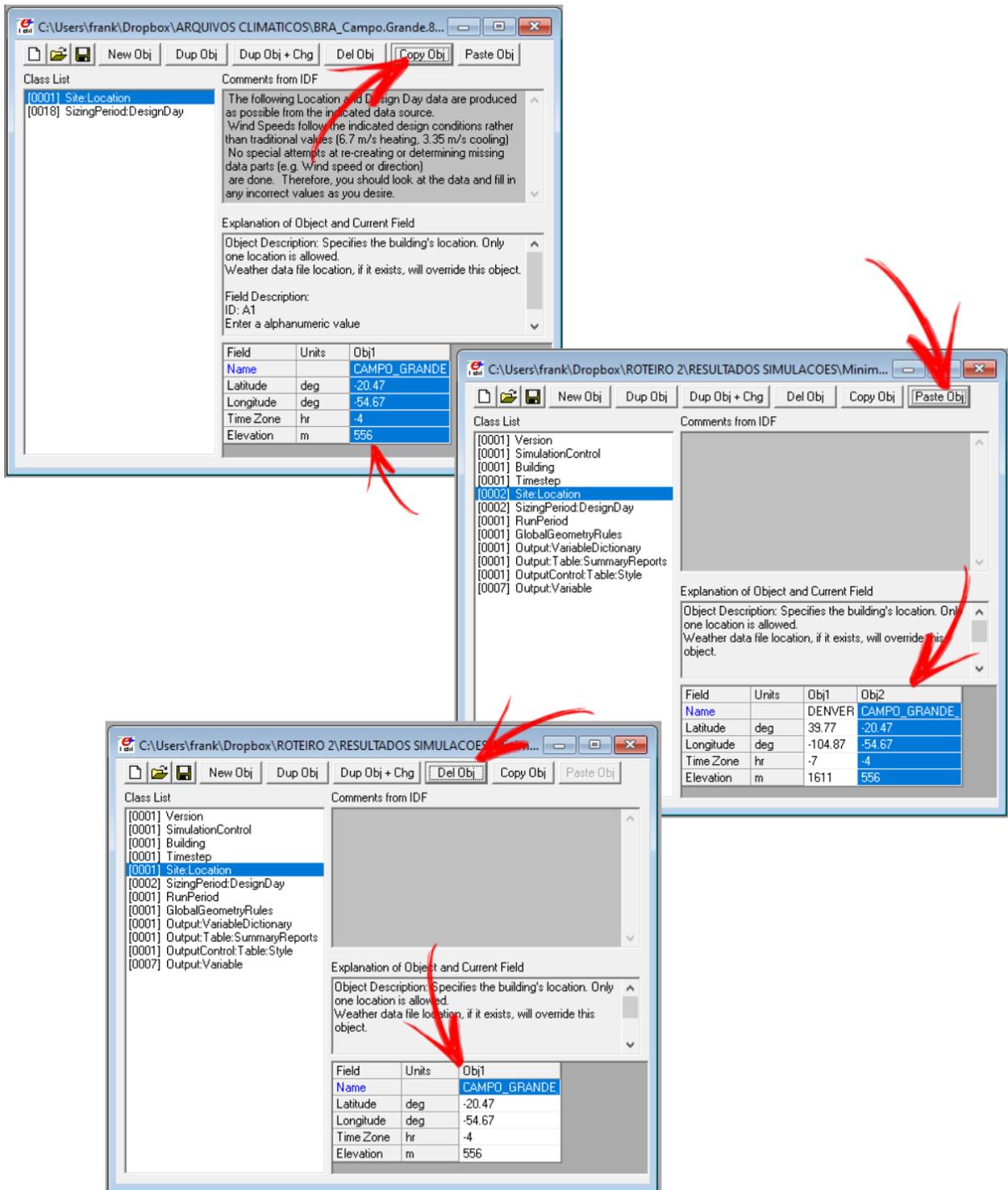
Para abrir o *ddy* de Campo Grande, acesse o Menu *File > Open* ou pelo atalho *Ctrl+O*. A Figura abaixo demonstra o procedimento de localização do arquivo em um sistema *Windows*.

Figura 68: Localizando o arquivo *.ddy*



Caso esteja trabalhando com um editor de textos, é possível abrir o *.ddy* com duplo clique sobre o arquivo (ou na função “Abrir com” para selecionar o aplicativo) e realizar os procedimentos de maneira análoga aos descritos a seguir.

Figura 69: Procedimento para transferência de informações climáticas do *ddy* para o *Minimal*



Após abri-lo, dê um *Ctrl+L* para acessar somente os objetos em uso na *Class List*. Note que há apenas duas classes de objetos: *Site:Location* e *SizingPeriod:DesignDay*, conforme o próprio nome do formato de arquivo sugere.

Vamos utilizar os botões que já aprendemos para transferir os dados de localização e clima de Campo Grande/MS para o *Minimal.idf*, e, em seguida, remover os dados de Denver.

Para facilitar o processo, divida a tela do *IDF Editor* entre os dois arquivos. Iniciemos pelo *Site:Location*.

Copie (*Copy Obj*) o único objeto do *ddy* de Campo Grande/MS e cole-o (*Paste Obj*) no *Site:Location* do *Minimal.idf*, conforme demonstrado na Figura 69. Depois, delete (*Del Obj*) o *Obj1* referente ao *Location* de Denver.

Repita o procedimento para o 2° e 8° objetos da classe *SizingPeriod:DesignDay* do *.ddy* de Campo Grande/MS (Figura 70), colando-o no *Minimal* e deletando os objetos anteriores referentes a Denver.

Podemos escolher simular com diversos dias de projeto, se quisermos. Demorará mais tempo, mas talvez haja diferentes comportamentos do sistema AVAC em diferentes condições do dia de projeto. Usualmente, escolhemos simular somente com um dia de verão e outro dia de inverno.

Para saber qual escolher, temos que ler o “nome” completo de cada objeto, o qual difere em função de uma probabilidade de ocorrência da temperatura de bulbo seco nele registrada. Geralmente são escolhidos o 2° e o 8° objetos porque se referem a 1% e 99% de probabilidade de ocorrência dos valores, respectivamente.

Figura 70: Seleção dos objetos dos dias de projeto de Campo Grande para uso no *Minimal*

| Field                                                 | Units          | Obj1               | Obj2               | Obj3               | Obj4               | Obj5               | Obj6               | Obj7               | Obj8               | Obj9               |
|-------------------------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Name                                                  |                | CAMPO_GRADE        |
| Month                                                 |                | 7                  | 7                  | 7                  | 7                  | 7                  | 7                  | 11                 | 11                 | 11                 |
| Day of Month                                          |                | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 | 21                 |
| Day Type                                              |                | WinterDesignDay    | WinterDesignDay    | WinterDesignDay    | WinterDesignDay    | WinterDesignDay    | WinterDesignDay    | SummerDesignDay    | SummerDesignDay    | SummerDesignDay    |
| Maximum Dry-Bulb Temperature                          | C              | 8.5                | 10.8               | 14.4               | 16.1               | 17.2               | 19                 | 36.2               | 35.2               | 34.2               |
| Daily Dry-Bulb Temperature Range                      | deltaC         | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 10.5               | 10.5               | 10.5               |
| Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type              |                | DefaultMultipliers |
| Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule      |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Humidity Condition Type                               |                | Wetbulb            | Wetbulb            | Dewpoint           | Dewpoint           | Wetbulb            | Wetbulb            | Wetbulb            | Wetbulb            | Wetbulb            |
| Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb               | C              | 8.5                | 10.8               | 2                  | 4.1                | 17.2               | 19                 | 22.7               | 22.9               | 23                 |
| Humidity Condition Day Schedule Name                  |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb                    | kgWater/kgDryA |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Enthalpy at Maximum Dry-Bulb                          | J/kg           |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Daily Wet-Bulb Temperature Range                      | deltaC         |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Barometric Pressure                                   | Pa             | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              | 94822              |
| Wind Speed                                            | m/s            | 6                  | 6                  | 6                  | 6                  | 12.7               | 11.2               | 4.9                | 4.9                | 4.9                |
| Wind Direction                                        | deg            | 180                | 180                | 180                | 180                | 180                | 330                | 330                | 330                | 330                |
| Rain Indicator                                        |                | No                 |
| Snow Indicator                                        |                | No                 |
| Daylight Saving Time Indicator                        |                | No                 |
| Solar Model Indicator                                 |                | ASHRAEClearSky     | ASHRAEClearSky     | ASHRAEClearSky     | ASHRAEClearSky     | ASHRAEClearSky     | ASHRAEClearSky     | ASHRAEtau          | ASHRAEtau          | ASHRAEtau          |
| Beam Solar Day Schedule Name                          |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Diffuse Solar Day Schedule Name                       |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance    | dimensionless  |                    |                    |                    |                    |                    |                    | 0.385              | 0.385              | 0.385              |
| ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance | dimensionless  |                    |                    |                    |                    |                    |                    | 2.406              | 2.406              | 2.406              |
| Sky Clearness                                         |                | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  | 0                  |                    |                    |                    |
| Maximum Number Warmup Days                            |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Begin Environment Reset Mode                          |                |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |

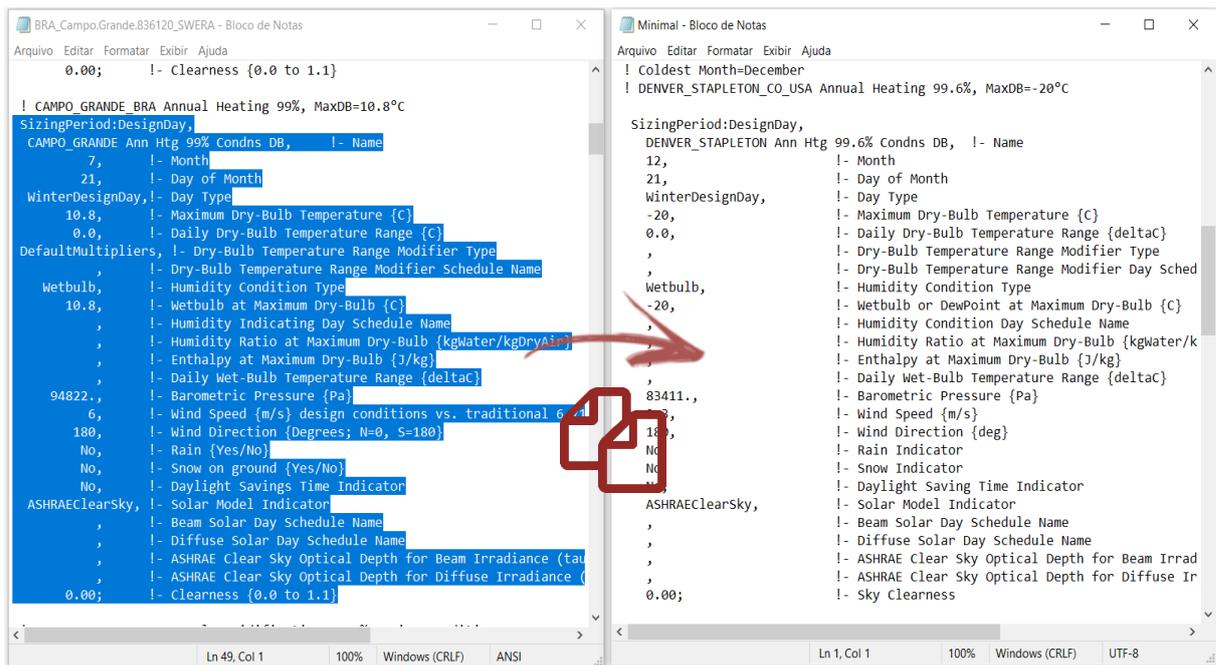


**Para saber mais** sobre os métodos para criação de um “dia típico” com base em uma série de dados climáticos (mais de dez anos de dados), recomendamos a leitura da dissertação de Goulart (1993).

As imagens abaixo demonstram o procedimento descrito, mas desta vez sendo realizado no *Text Editor* (Bloco de Notas do *Windows*).

Primeiro, são copiadas as informações climáticas de Campo Grande relativas aos dias de projeto, conforme a Figura 71.

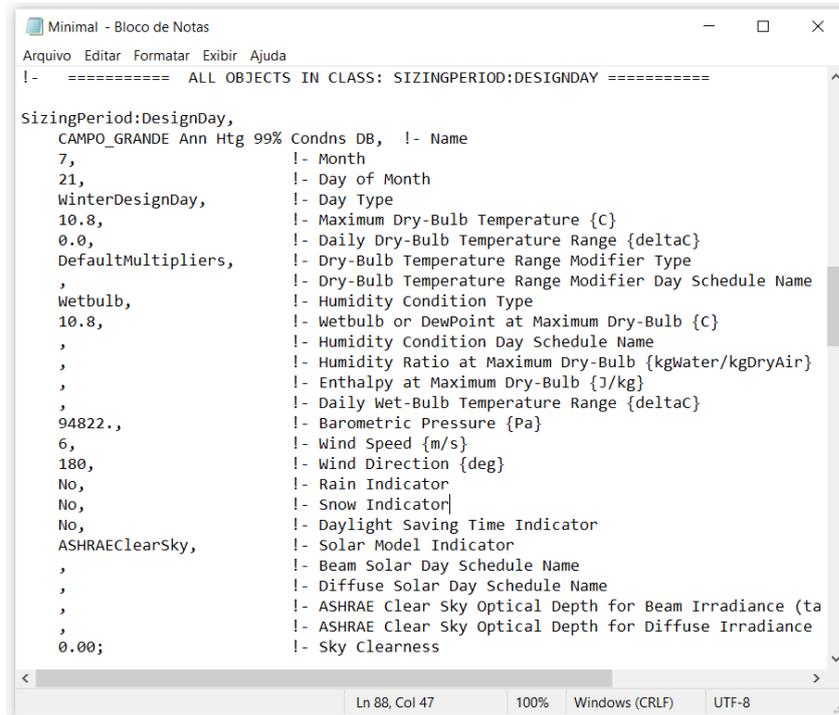
Figura 71: Copiando os dados climáticos de Campo Grande a partir do editor de textos



Depois, esses dados são colados em substituição aos de Denver, conforme demonstrado na Figura 72..

Tenha muita atenção ao realizar o processo no bloco de notas para não “perder” nenhum caractere durante o processo.

Figura 72: Colando os dados climáticos de Campo Grande no *Minimal* pelo editor de textos



```
Minimal - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: SIZINGPERIOD:DESIGNDAY =====

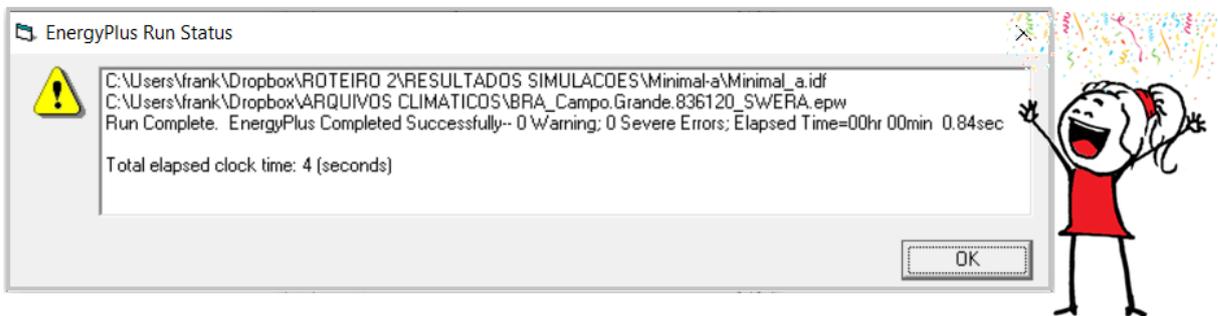
SizingPeriod:DesignDay,
CAMPO_GRANDE Ann Htg 99% Condns DB, !- Name
7, !- Month
21, !- Day of Month
WinterDesignDay, !- Day Type
10.8, !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
0.0, !- Daily Dry-Bulb Temperature Range {deltaC}
DefaultMultipliers, !- Dry-Bulb Temperature Range Modifier Type
, !- Dry-Bulb Temperature Range Modifier Day Schedule Name
Wetbulb, !- Humidity Condition Type
10.8, !- Wetbulb or DewPoint at Maximum Dry-Bulb {C}
, !- Humidity Condition Day Schedule Name
, !- Humidity Ratio at Maximum Dry-Bulb {kgWater/kgDryAir}
, !- Enthalpy at Maximum Dry-Bulb {J/kg}
, !- Daily Wet-Bulb Temperature Range {deltaC}
94822., !- Barometric Pressure {Pa}
6, !- Wind Speed {m/s}
180, !- Wind Direction {deg}
No, !- Rain Indicator
No, !- Snow Indicator
No, !- Daylight Saving Time Indicator
ASHRAEClearSky, !- Solar Model Indicator
, !- Beam Solar Day Schedule Name
, !- Diffuse Solar Day Schedule Name
, !- ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Beam Irradiance (tau_b)
, !- ASHRAE Clear Sky Optical Depth for Diffuse Irradiance (tau_d)
0.00; !- Sky Clearness

Ln 88, Col 47 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Feito isto, salve o modelo modificado com um novo nome (*Save As...*), por exemplo, como “*Minimal\_a.idf*”.

Depois, feche o *IDF Editor*, retorne ao *EP-Launch*, selecione o novo arquivo *.idf* de entrada e, então, simule-o em *Simulate*. Veja o retorno do *EnergyPlus™ Run Status*.

Figura 73: Simulação completa do *Minimal\_a* no *EnergyPlus™*



**Parabéns, você completou sua primeira simulação!!!**

## AS VARIÁVEIS DE SAÍDA DO *MINIMAL.IDF*

Observe que na pasta onde se encontra o *Minimal\_a* foram gerados alguns arquivos após a simulação (Figura 74).

Figura 74: Lista de arquivos gerados após a simulação

| Nome              | Data de modificação | Tipo                  | Tamanho |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------|
| EPTMP-00000001    | 5/14/2020 11:05 AM  | Pasta de arquivos     |         |
| Minimal_a.audit   | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo AUDIT         | 2 KB    |
| Minimal_a.bnd     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo BND           | 7 KB    |
| Minimal_a         | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo de Valore...  | 23 KB   |
| Minimal_a.eio     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo EIO           | 12 KB   |
| Minimal_a         | 5/14/2020 11:05 AM  | Error log             | 1 KB    |
| Minimal_a.eso     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo ESO           | 34 KB   |
| Minimal_a         | 5/14/2020 11:04 AM  | EnergyPlus Input D... | 9 KB    |
| Minimal_a.mdd     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo MDD           | 1 KB    |
| Minimal_a.mtd     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo MTD           | 2 KB    |
| Minimal_a.rdd     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo RDD           | 4 KB    |
| Minimal_a.rvaudit | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo RVAUDIT       | 1 KB    |
| Minimal_a.shd     | 5/14/2020 11:05 AM  | Arquivo SHD           | 1 KB    |
| Minimal_a         | 5/14/2020 11:05 AM  | Documento SVG         | 1 KB    |
| Minimal_aTable    | 5/14/2020 11:05 AM  | Chrome HTML Do...     | 175 KB  |

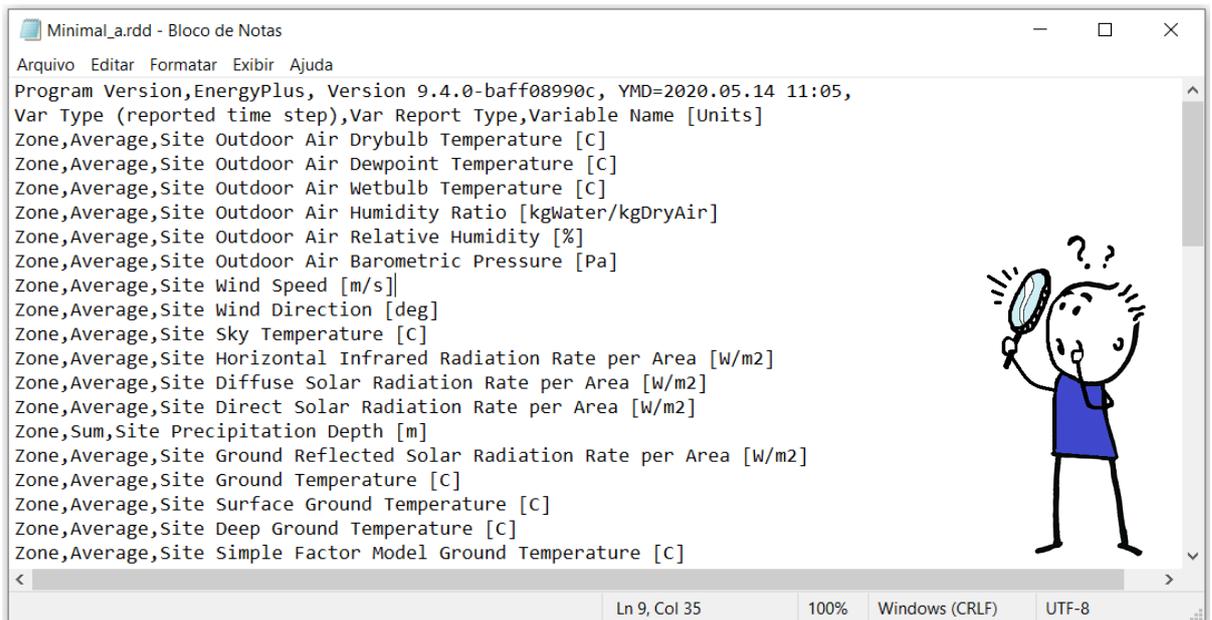
Abra o arquivo RDD (*.rdd*) para verificar as variáveis de saída que podem ser solicitadas ao *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. O RDD pode ser aberto com duplo clique sobre o arquivo ou a partir do *EP-Launch* em *View Results*, no botão RDD .

Observe que os *outputs* estão relacionados com o que foi modelado (ou seja, apenas o clima). Aproveite para analisar, em paralelo com o RDD, as variáveis que foram solicitadas nos objetos da classe *Output:Variable* do *Minimal\_a*, conforme exemplifica a Figura 75.



**DICA!!!** O arquivo *Minimal.idf* pode ser utilizado como um modelo base para que uma geometria e demais configurações sejam inseridas sobre os objetos preexistentes. Ainda assim, conforme veremos nos próximos Roteiros, o *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup> gera objetos adicionais, inclusive aqueles previstos no *Minimal.idf*.

Figura 75: Dados de saída configurados no *EnergyPlus™* para o *Minimal\_a*



| Field               | Units | Obj1                     | Obj2                | Obj3                 | Obj4                 | Obj5                  | Obj6                 | Obj7                  |
|---------------------|-------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Key Value           |       | *                        | *                   | *                    | *                    | *                     | *                    | *                     |
| Variable Name       |       | Site Outdoor Air Drybulb | Site Outdoor Air We | Site Outdoor Air Dew | Site Solar Azimuth A | Site Solar Altitude A | Site Direct Solar Ra | Site Diffuse Solar R. |
| Reporting Frequency |       | Timestep                 | Timestep            | Timestep             | Timestep             | Timestep              | Timestep             | Timestep              |
| Schedule Name       |       |                          |                     |                      |                      |                       |                      |                       |

No botão *Variables* **Variables** do *EP-Launch* é possível ter acesso aos dados de saída tabulados, no formato de arquivo *.csv* (arquivo de valores separados por vírgula). Outro modo para abrir o *csv* é a partir da pasta do *Minimal\_a* (Figura 74), cuja extensão é *Minimal\_a.csv*.

A Figura 76 apresenta os dados tabulados conforme os *outputs* que foram solicitados ao *EnergyPlus™*.

Figura 76: Dados de saída do *Minimal\_a.idf* tabulados

| Date/Time      | Environment:Site Outdoor Air Drybulb Temperature [C](TimeStep) | Environment:Site Outdoor Air Dewpoint Temperature [C](TimeStep) | Environment:Site Outdoor Air Wetbulb Temperature [C](TimeStep) | Environment:Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area [W/m2](TimeStep) | Environment:Site Direct Solar Radiation Rate per Area [W/m2](TimeStep) | Environment:Site Solar Azimuth Angle [deg](TimeStep) | Environment:Site Solar Altitude Angle [deg](TimeStep) |
|----------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 07/21 00:15:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 87.49248261                                          | -82.95519045                                          |
| 07/21 00:30:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 87.22649656                                          | -79.44564097                                          |
| 07/21 00:45:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 86.75954572                                          | -75.93724855                                          |
| 07/21 01:00:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 86.20850792                                          | -72.43064867                                          |
| 07/21 01:15:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 85.61153516                                          | -68.92639078                                          |
| 07/21 01:30:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 84.98419576                                          | -65.42501387                                          |
| 07/21 01:45:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 84.33353837                                          | -61.92706861                                          |
| 07/21 02:00:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 83.66277906                                          | -58.43312796                                          |
| 07/21 02:15:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 82.97317031                                          | -54.9437946                                           |
| 07/21 02:30:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 82.26484326                                          | -51.45970755                                          |
| 07/21 02:45:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 81.53722099                                          | -47.98154889                                          |
| 07/21 03:00:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 80.78923267                                          | -44.51005099                                          |
| 07/21 03:15:00 | 10.8                                                           | 10.79998458                                                     | 10.79998458                                                    | 0                                                                       | 0                                                                      | 80.019427                                            | -41.04600447                                          |

## AGORA É COM VOCÊ

É hora de praticar!!! Configure alguns parâmetros do arquivo *Minimal.idf* e simule-o no *EnergyPlus™*. Em seguida, analise os dados de saída do arquivo *.csv*. Para realização desta atividade, considere as seguintes etapas:



- I) Baixe o arquivo climático de Brasília-DF do tipo TMY (formatos *.epw* e *.ddy*).
- II) Copie a localização do arquivo *.ddy* dentro do *Minimal.idf*.
- III) Copie também os dias típicos do arquivo *.ddy*, sendo o 2º e 8º objetos (um de inverno e outro de verão).
- IV) Considere um terreno no subúrbio e a distribuição solar como “*FullExterior*”.
- V) Considere um *timestep* igual a 10.
- VI) Não considere indicadores de neve do arquivo climático; não considere feriados.
- VII) Solicite somente as seguintes variáveis de saída (copie o nome de cada uma e cole no campo *Variable Name* do *Output:Variable*):

|                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Site Outdoor Air Drybulb Temperature</i><br><i>Site Direct Solar Radiation Rate per Area</i><br><i>Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area</i><br><i>Site Wind Speed</i> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- VIII) Salve com um novo nome, por exemplo, “*Atividade\_Minimal.idf*”.
- IX) Simule.
- X) Analise os resultados do arquivo *.csv* por meio de tabelas e gráficos, conforme fizemos nos roteiros e na atividade do Módulo II. Calcule as médias diárias e mensais para cada variável climática retornada pós-simulação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

BIG LADDER SOFTWARE. Disponível em: < <https://bigladdersoftware.com/> >. Acesso em: 10/05/2020.

DOE. U. S. Department of Energy. **Getting Started – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020a.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020b.

DOE. U. S. Department of Energy. **Engineering reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020c.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

SIQUEIRA, T. C. P. A. *et al.* Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 2, p. 133-138, 2005.

# MÓDULO IV



## A SUPERFÍCIE

## NESTE MÓDULO VOCÊ

# APRENDERÁ

---

**C**omo o calor é transferido para o interior do envelope? E o que é o envelope? Neste módulo, estudaremos os mecanismos de transferência de calor atuantes nas superfícies da edificação e as propriedades térmicas dos materiais construtivos que as compõem. Tens ideia de quais seriam estas propriedades? E qual sua importância no desempenho térmico e energético de uma edificação?

Para compreender como funcionam estes processos e o impacto dos tipos de materiais e de suas propriedades nos resultados, modelaremos uma superfície, atribuiremos materiais a ela, transformando-a em um componente construtivo que representa uma parede submetida às condições climáticas de determinada localidade e, então, a simularemos no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Com base nos dados de saída, serão feitas algumas análises pontuais e comparativas do “efeito” dos parâmetros no desempenho térmico da parede.

Em complemento aos conteúdos trabalhados neste Módulo, desenvolvemos ainda um Apêndice contendo o método de cálculo das propriedades térmicas dos materiais utilizado pela ABNT NBR 15.220:2005, bem como o método para definição de componentes equivalentes de paredes para uso no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. O porquê da necessidade desta conversão você confere aqui, em “A Superfície”.

## CAPÍTULO SEXTO

# A ENVOLTÓRIA E OS MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O INTERIOR DA EDIFICAÇÃO

---

Brackney *et al.* (2018) define um edifício como sendo uma estrutura feita pelo homem que isola o interior do ambiente externo. Esse isolamento é possível graças à existência de elementos como paredes, telhados e pisos. Tais elementos, por sua vez, constituem o chamado “envelope” do edifício.



### *Envelope*

O envelope de uma edificação pode ser definido como o separador físico entre o ambiente controlado (interior do edifício) e o ambiente incontrolado (exterior da edificação) (CLEVELAND; MORRIS, 2009).

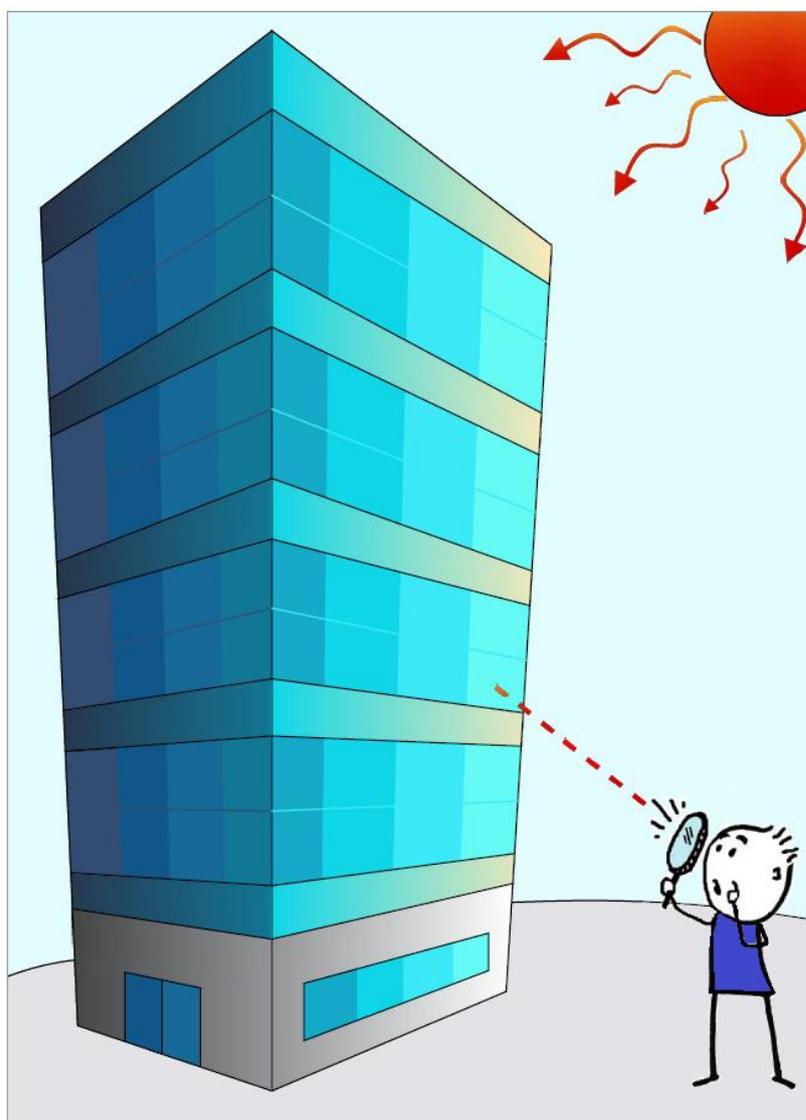
Você poderá encontrar na literatura os termos “envolvente” ou “envoltória” do edifício como sinônimos do envelope (ALLEN; IANO, 2013). Segundo o manual de aplicação do RTQ-C (BRASIL, 2013), a envoltória pode ser entendida como “a pele” da edificação.

A comparação é apropriada, visto que nossa pele funciona como uma fina interface de separação entre o interior do corpo e o meio externo e atua na regulação térmica humana. Nesse sentido, Pirró (2014) salienta que, independentemente da função e do material que compõe “o corpo” da edificação, todas as superfícies acima do nível do solo em contato com o exterior pertencem à envoltória.

Repare no edifício de escritórios da Figura 77. Enquanto do lado de fora o observador está sujeito às ações do sol (ou demais condições meteorológicas, por exemplo chuva, vento, neve) e experimenta a sensação de calor, seus ocupantes trabalham protegidos (pelo envelope / envoltória) da influência direta do clima.

Como a envolvente do edifício funciona como uma espécie de “filtro” ou barreira, então as trocas de energia térmica (calor), umidade e ar (infiltração e ventilação) ocorrem através das superfícies da edificação.

Figura 77: Envelope de um edifício de escritórios



Eis o conceito de superfície:

### *Superfície*

Uma superfície pode ser entendida como um polígono bidimensional que separa o volume contido no ambiente interno de um espaço da região externa a este espaço, por meio de fechamentos opacos (e.g., paredes, telhados, pisos) ou transparentes (elementos feitos com materiais translúcidos, e.g. janelas e claraboias) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

**OBSERVAÇÃO!!!** A transparência está relacionada à propriedade física de permitir a passagem de luz através do material sem ser dispersada, enquanto que um meio translúcido é aquele que permite o transporte de luz, sendo a propriedade oposta da opacidade (FOX, 2002). A partir deste módulo, os fechamentos transparentes (portas, janelas, claraboias etc.) serão denotados pelo termo “subsuperfícies”.



As superfícies e subsuperfícies desempenham um importante papel na transferência de calor para dentro e fora do edifício e, conseqüentemente, em seu desempenho termoenergético e no conforto térmico de seus ocupantes.

Seguindo a curiosidade do intrépido observador, vamos olhar mais de perto o que está acontecendo no interior de uma dessas salas do edifício, ou melhor, em uma zona térmica.

### *Zona térmica*

As superfícies (paredes, teto, piso) formam o “invólucro” dos ambientes de um edifício. A zona térmica, portanto, corresponde ao nome dado a cada ambiente individual (espaço ou grupo de espaços) da edificação. Logo, uma ou mais zonas térmicas constituem a envoltória do edifício, na qual atuam os processos de transferência de calor e onde os seres humanos desempenham suas atividades e operam dispositivos manuais, equipamentos eletroeletrônicos e sistemas de iluminação, ventilação e condicionamento de ar.

A luz solar que chega até a superfície do planeta é decomposta em parcelas. Uma parte da radiação que incide sobre a Terra não sofre espelhamentos pela atmosfera, atingindo o solo diretamente. Por esse motivo, essa parcela é denotada “radiação direta”.

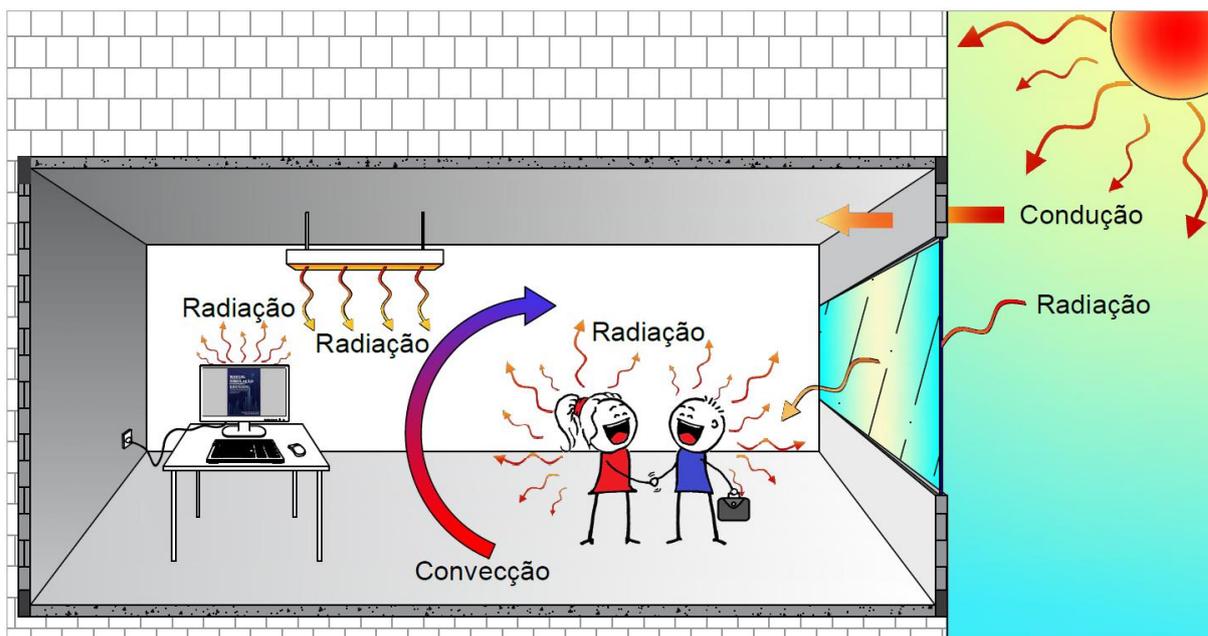
Outra parte dos raios solares são decompostos ou espelhados no percurso por diferentes agentes, atingindo indiretamente as superfícies. Esses correspondem à parcela indireta, que engloba a radiação difusa e a parte refletida. Quando a porção de luz recebida indiretamente resulta da difração nas nuvens, poeiras em suspensão e outros obstáculos na atmosfera, temos a correspondente difusa. Já quando a luz solar provém da reflexão dos edifícios, solo e demais objetos próximos, então temos a parcela de radiação refletida (FIORIN *et al.*, 2011).

Logo, a radiação total que incide sobre o edifício exemplificado na Figura 77 é resultado da soma dessas parcelas (direta, difusa e refletida). Ao atingi-lo (insolação do envelope), essa

radiação vai sendo “absorvida” e retransmitida aos ambientes internos através das superfícies e subsuperfícies (FERNANDES, 2002).

Essa transferência dá-se por alguns processos físicos definidos pelos seres humanos que buscam explicar esse “transporte”, expressas pela condução, convecção e radiação, conforme demonstrado na Figura 78.

Figura 78: Modos de transferência de calor em uma zona térmica do envelope



Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorrerá uma transferência de energia térmica. O calor, então, pode ser definido como a taxa de energia térmica transferida por unidade de tempo devido a uma diferença de temperatura. O calor é uma grandeza física vetorial (fluxo de calor) caracterizada pela intensidade e orientação espacial (direção e sentido) (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

O conhecimento dos processos físicos que participam na envoltória permite avaliar as respostas térmicas e energéticas do edifício frente às condições climáticas locais e escolher as alternativas e soluções técnicas de projeto mais proveitosas do ponto de vista do desempenho e do conforto dos edifícios (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Vejamos um pouco mais sobre cada um deles.

## 6.1 CONDUÇÃO TÉRMICA

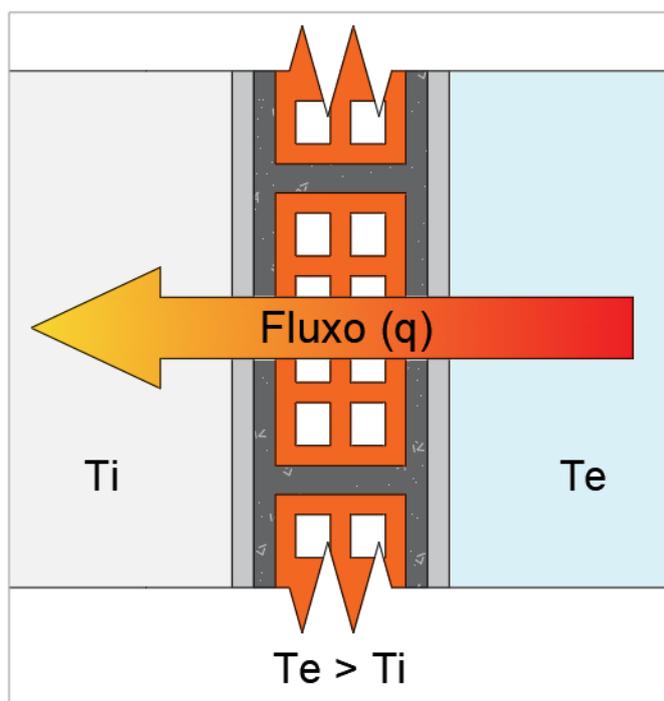
### *Condução térmica*

A condução está relacionada ao transporte de calor entre átomos em um meio material (ou seja, sólidos ou fluidos) devido ao gradiente de temperatura (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

A direção do fluxo de calor ocorre espontaneamente da maior para a menor temperatura (sentido decrescente) em busca do equilíbrio térmico<sup>23</sup>. Considerando que a sala apresenta uma menor temperatura em relação ao meio externo ( $T_e > T_i$ ), o calor está sendo conduzido para o interior da zona térmica através das superfícies.

A Figura 79 caracteriza o fluxo de calor passando pela parede do edifício em direção à zona térmica exemplificada.

Figura 79: Esquema da transmissão de calor na envoltória através de uma parede



<sup>23</sup> A lei zero da termodinâmica enuncia que quando dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, então, esses corpos estarão em equilíbrio térmico entre si (SEARS; SALINGER, 1979).

**OBSERVAÇÃO!!!** A propriedade que mensura a capacidade de um corpo conduzir calor é chamada de condutibilidade térmica. Os bons condutores térmicos são materiais que apresentam um alto valor de condutibilidade, enquanto que materiais isolantes são aqueles que exibem baixa condutibilidade térmica. Veja que a escolha certa do material a ser empregado na construção é de extrema importância para o conforto térmico e desempenho energético do envelope. No Capítulo seguinte trataremos mais a respeito das propriedades térmicas dos materiais construtivos!



## 6.2 CONVECÇÃO TÉRMICA

### *Convecção térmica*

A convecção acontece na presença de fluidos. Nessa modalidade, ocorre transferência de massa, uma vez que o fluido aquecido move-se (buscando atingir o equilíbrio térmico), formando “correntes” de convecção (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

No exemplo do escritório (Fig. 78), a transferência de calor por convecção ocorre entre pela diferença de temperatura entre o fluido em movimento (ar) e as superfícies da sala.

## 6.3 RADIAÇÃO

### *Radiação*

Fenômeno pelo qual a transferência de calor ocorre através de ondas eletromagnéticas, dispensando um meio físico para esse transporte. Pode ser originária de meios naturais (exemplo, luz solar vem pelo vácuo até chegar ao nosso planeta) ou fontes não naturais (e.g., dispositivos eletroeletrônicos).

A radiação tanto pode ser ionizante (energia suficiente para arrancar elétrons que se encontram ligados a átomos/moléculas) quanto não-ionizante (baixa frequência e baixa energia, insuficiente para ionizar átomos, sendo o Sol a fonte principal).

Detenhamo-nos à radiação oriunda dos geradores não-ionizantes, compreendendo as regiões da luz visível, infravermelho, ultravioleta e radiação cósmica de fundo do espectro eletromagnético (ondas curtas e longas).

No caso da zona térmica abordada em nosso estudo, o piso ganha calor por irradiação<sup>24</sup> proveniente da radiação solar (direta, difusa e refletida) incidente na janela. Além da energia radiante<sup>25</sup> do Sol no interior da sala, observe pela Figura 78 que há ganhos de calor interno oriundos de pessoas, da iluminação e dos equipamentos elétricos plugados. Isso ocorre porque todo corpo emite radiação para o meio que o cerca, assim como dele a absorve.



**OBSERVAÇÃO!!!** Com relação à quantidade de calor liberado pelos organismos vivos (pessoas) em específico, saiba que este ocorre em função da atividade que está sendo desenvolvida (atividades metabólicas). Esse calor é dissipado para o meio através de mecanismos de trocas, as quais podem ser: (i) trocas térmicas secas, em que não há mudança de estado físico (calor sensível) durante o transporte de calor (condução, convecção, radiação) e (ii) trocas úmidas, envolvendo os processos de evaporação, respiração e transpiração para manter as temperaturas normais do organismo (ocorre mudança de fase, portanto, trata-se do calor latente) (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A seguir, vamos aprender a modelar uma superfície no *plugin* do *OpenStudio*® para *SkechUp* e, então, configurá-la e simulá-la no *EnergyPlus*™.

<sup>24</sup> Irradiação: refere-se à radiação térmica, onde o calor é propagado por meio de ondas eletromagnéticas. Diz-se que um corpo está sendo irradiado quando está recebendo radiação.

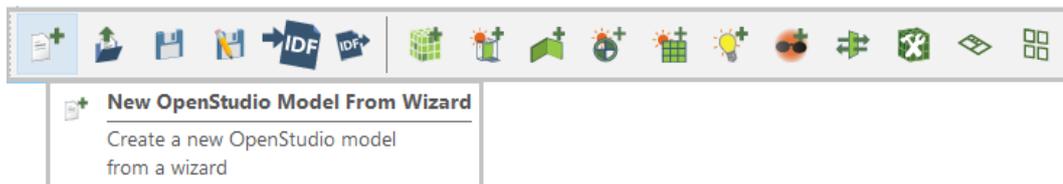
<sup>25</sup> Energia radiante: radiação eletromagnética que irradia em todas as direções do espaço a partir de uma fonte.

## ROTEIRO IV-a

# MODELANDO UMA SUPERFÍCIE NO *OPENSTUDIO*<sup>®</sup>

Abra o programa *SketchUp* e carregue o *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup>. Crie um modelo novo em *New OpenStudio Model From Wizard*, conforme demonstra a figura 80.

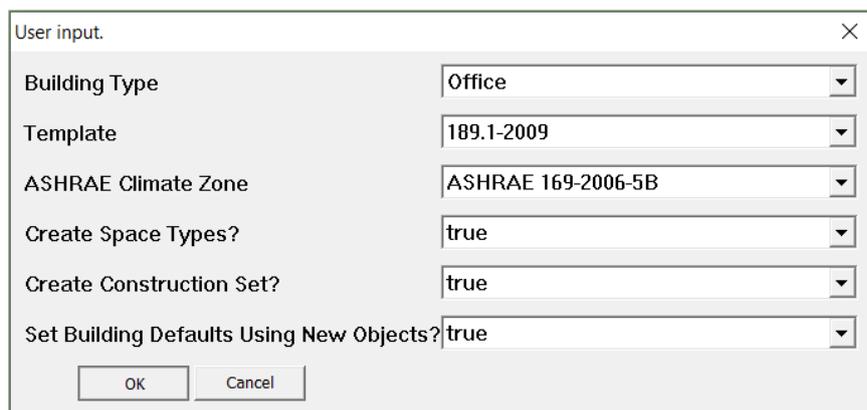
Figura 80: Criando um novo modelo no *plugin* do *OpenStudio* para *SketchUp*



Será aberta uma janela com as informações a serem inseridas. Essa opção funciona como um assistente para configuração prévia dos objetos, ou seja, são escolhas que o programa dá para alguns “*templates*” de materiais, cargas internas e rotinas de uso recomendadas por normativas da *ASHRAE*.

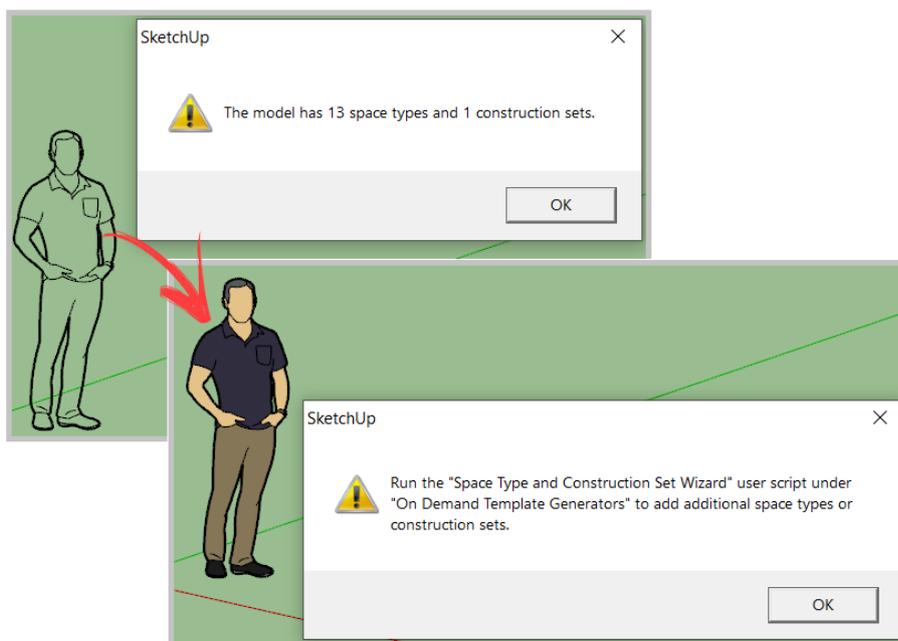
A princípio, deixaremos os campos preenchidos como *TRUE* para criar valores padrão. Mas saiba que para não sobrecarregarmos o modelo com informações referentes a outros países e normativas, pode ser mais conveniente assinalar como *FALSE*, visto que, ao deixarmos como *TRUE*, são definidos muitos materiais e rotinas de uso padrões.

Figura 81: Assistente de configuração prévia de objetos

A screenshot of a dialog box titled 'User input'. It contains several dropdown menus for configuration. The fields are: 'Building Type' (Office), 'Template' (189.1-2009), 'ASHRAE Climate Zone' (ASHRAE 169-2006-5B), 'Create Space Types?' (true), 'Create Construction Set?' (true), and 'Set Building Defaults Using New Objects?' (true). At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

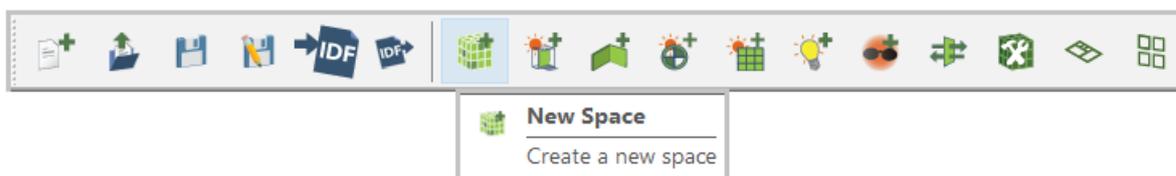
Aguarde “carregar” os avisos gerais sobre os *space types* e *construction* do modelo. Clique em *OK*, conforme a Figura 82.

Figura 82: Avisos sobre os *space types* e *construction* do modelo base



Agora, vamos criar a geometria que será interpretada pelo *EnergyPlus*. Clique em *New Space*, conforme a Figura 83.

Figura 83: Criando um novo espaço no *plugin* do *OpenStudio* para *SketchUp*

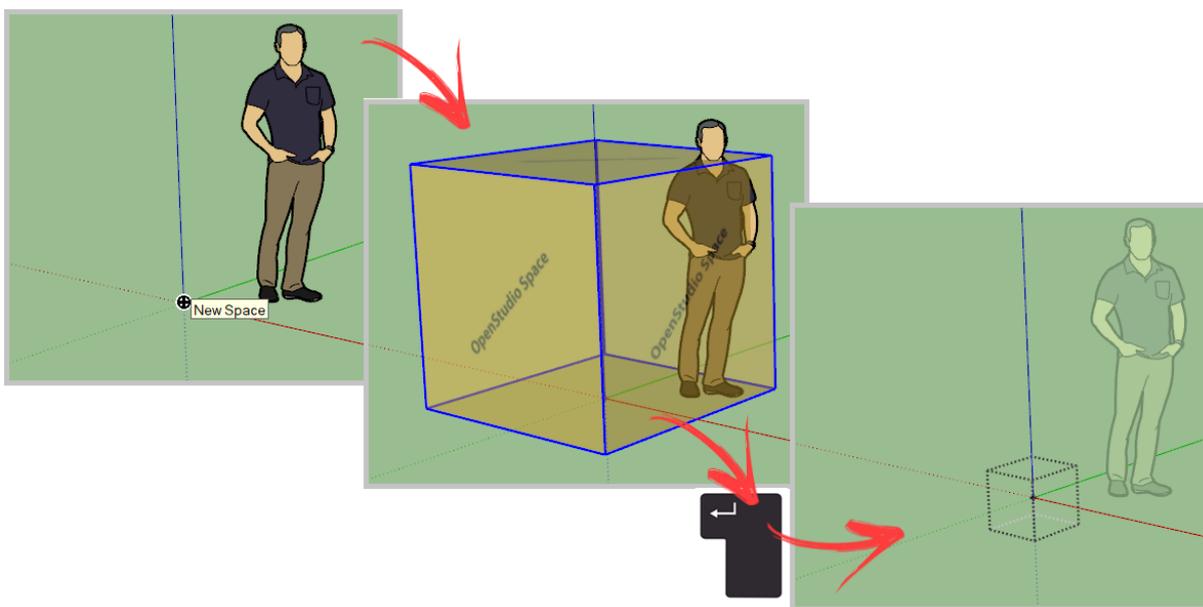


**ATENÇÃO!!!** O *Space* é o ambiente próprio para a modelagem das superfícies, aberturas, zonas térmicas etc. no *plugin OpenStudio®*.

Logo, qualquer coisa modelada fora do *Space* não será interpretada pelo *plugin* e nem pelo *EnergyPlus*. Então, tenha cuidado!

Clique em algum ponto no eixo cartesiano como a referência para as coordenadas do “Space”. Convencionalmente, se escolhe o ponto (0,0,0), mas poderia ser em qualquer ponto. Ao clicar no ponto selecionado, um cubo amarelado aparecerá. Para “entrar” no *Space*, deve-se clicar com o botão “Enter” do teclado, conforme o procedimento abaixo ilustrado.

Figura 84: Passo a passo para criar um *New Space* no *plugin OpenStudio®* a partir do eixo (0,0,0)



**OBSERVAÇÃO!!!** O conceito de *Space* é utilizado somente pelo *OpenStudio®* e não é reconhecido pelo *EnergyPlus™*, o qual trabalha com “*Thermal Zones*” (zonas térmicas).



Dentro do *Space*, devem ser modeladas as superfícies e a zona térmica de interesse. Para tanto, normalmente se utiliza as funcionalidades do *SketchUp* para o desenho de linhas, formas e retângulos e o comando *push/pull* (ferramenta para transformar superfícies planas em volumes não-sólidos).

Você se lembra que no capítulo terceiro do Módulo I citamos que uma das grandes vantagens do *plugin OpenStudio®* é o fato dele automaticamente interpretar as superfícies como sendo paredes, pisos, coberturas ou aberturas, dependendo de como as desenhamos? Pois bem, uma superfície desenhada no plano cartesiano será interpretada como piso. Uma superfície

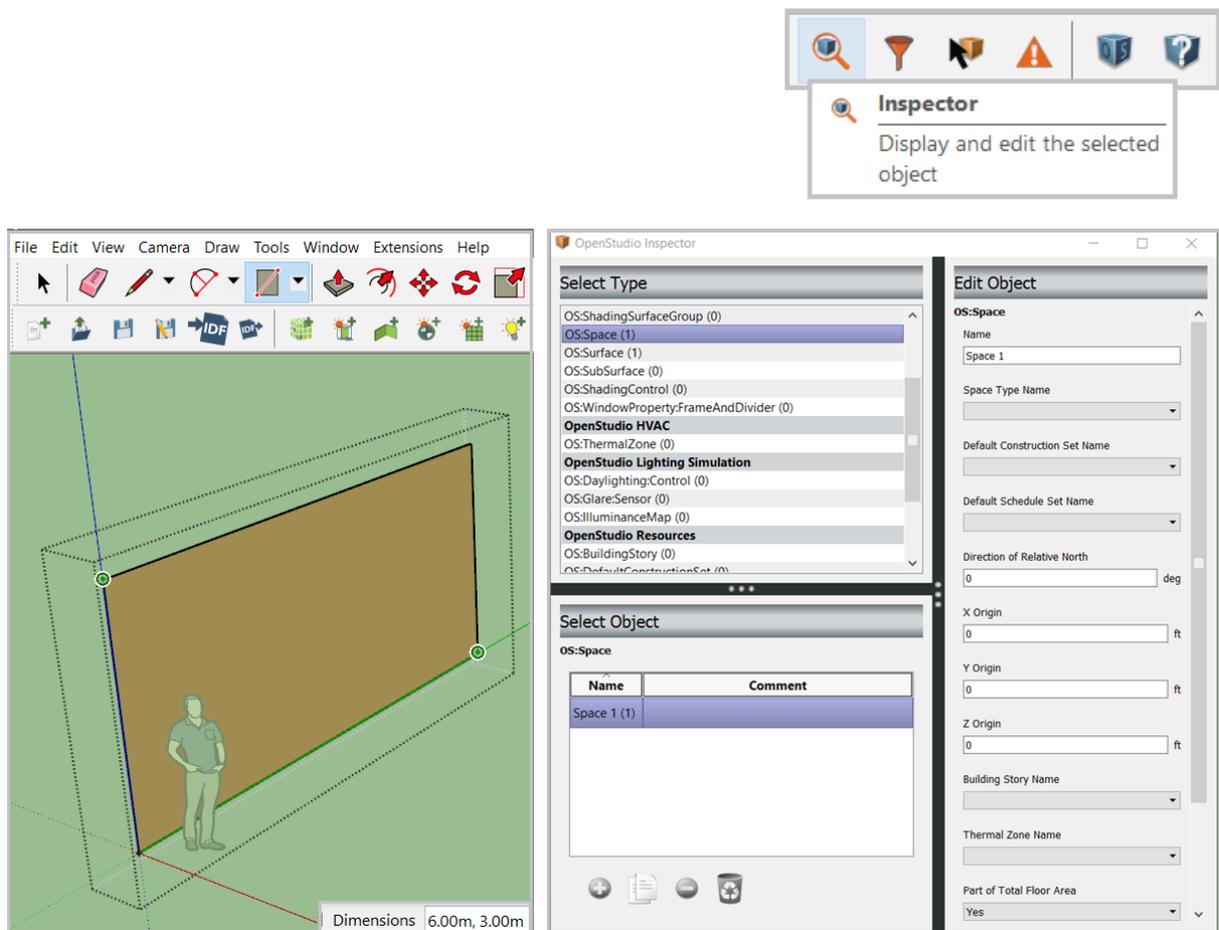
desenhada em direção ao eixo “z” será interpretada como parede. Uma abertura, se desenhada em uma superfície em contato com o piso, será interpretada como porta (*Door*) e se desenhada em uma superfície sem contato com o piso, como uma janela (*Window*).

A princípio, vamos modelar uma parede e, à medida que avançarmos em nosso estudo, adicionaremos outros elementos. Mas como desenhá-la? E como saber se o *plugin* “entendeu” que se tratava de uma parede?

Primeiro, dentro do *Space*, selecione o cursor do lápis  (ferramenta *Lines*) ou  (ferramenta *Rectangle*) para desenhar um retângulo de 6x3m (comprimento x altura) sobre o eixo cartesiano representado nas cores verde e azul, respectivamente.

Após desenhá-lo, clique sobre o ícone . Será aberta uma janela de visualização e edição de informações dos objetos modelados, chamada *Inspector*, conforme a Figura 85.

Figura 85: Modelagem de uma superfície de parede e visualização do elemento a partir do *Inspector*



O *Inspector* também pode ser aberto a partir de um clique com o botão direito do *mouse* sobre o elemento selecionado e, então, acesse o menu *OpenStudio* > *Inspector*. Em *Surface Type* é possível visualizar rapidamente que tipo de superfície foi modelada (em nosso caso, uma parede ou *Wall*) e configurá-la para um outro tipo de superfície, se necessário.

Figura 86: Outro modo de acessar o *Inspector* e de configurar rapidamente o tipo de superfície

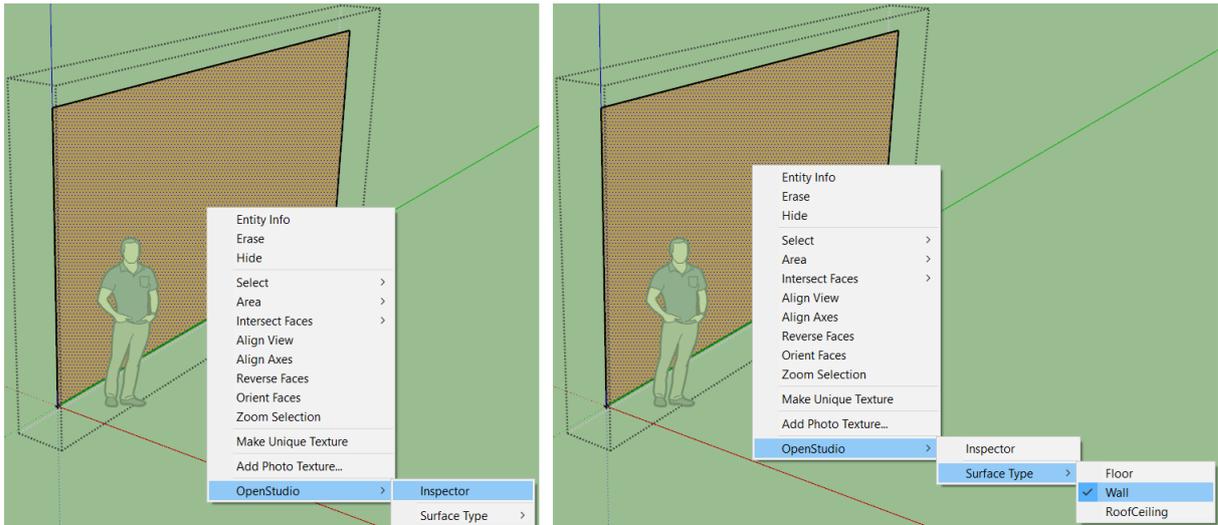
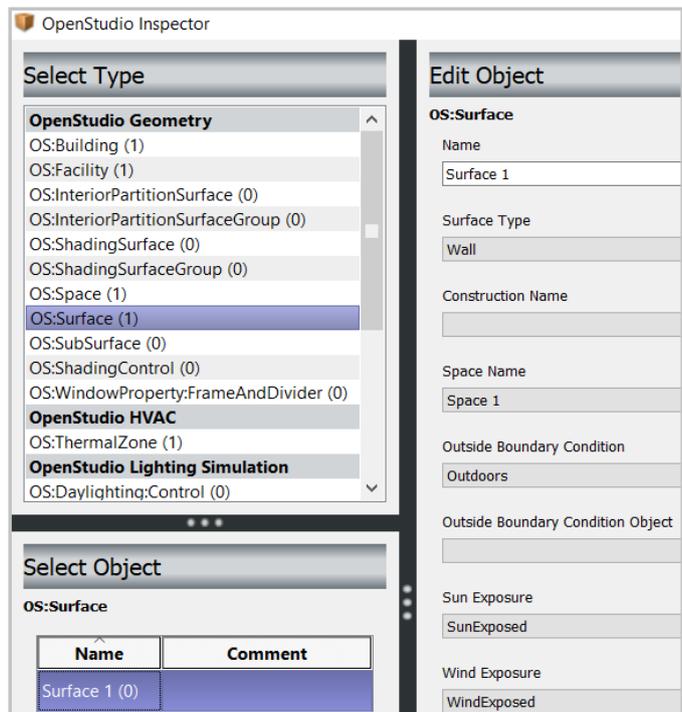


Figura 87: Visualização da superfície a partir do *Inspector*

Uma vez dentro do ambiente do *Inspector*, note que haverá um *Space(1)* e uma *Surface(1)*, conforme havíamos definido. Veja que é possível modificar as configurações do *Space* e da *Surface*. Você poderá renomear cada elemento, selecionar o tipo de espaço e superfície dentre as opções disponíveis, configurar os parâmetros de exposição ao sol e ao vento etc. A figura ao lado é um recorte da edição da superfície criada. Por hora, manteremos as definições “padrão” do *plugin OpenStudio®*.



É preciso atribuir uma *Thermal Zone* ao *Space* para que as informações modeladas sejam interpretadas pelo *EnergyPlus™*. Para tanto, clique sobre o *Space* para selecioná-lo e vá em *Set Attributes for Selected Spaces*. No campo da *Thermal Zone*, selecione a opção *<new thermal zone>*, como mostra a Figura 88. Em seguida, selecione o *OS:Space* e atribua a zona térmica criada em *Thermal Zone Name > Thermal Zone 1*, de acordo com a Figura 89.

Figura 88: Criando uma zona térmica para o *Space* no *plugin* do *OpenStudio®*

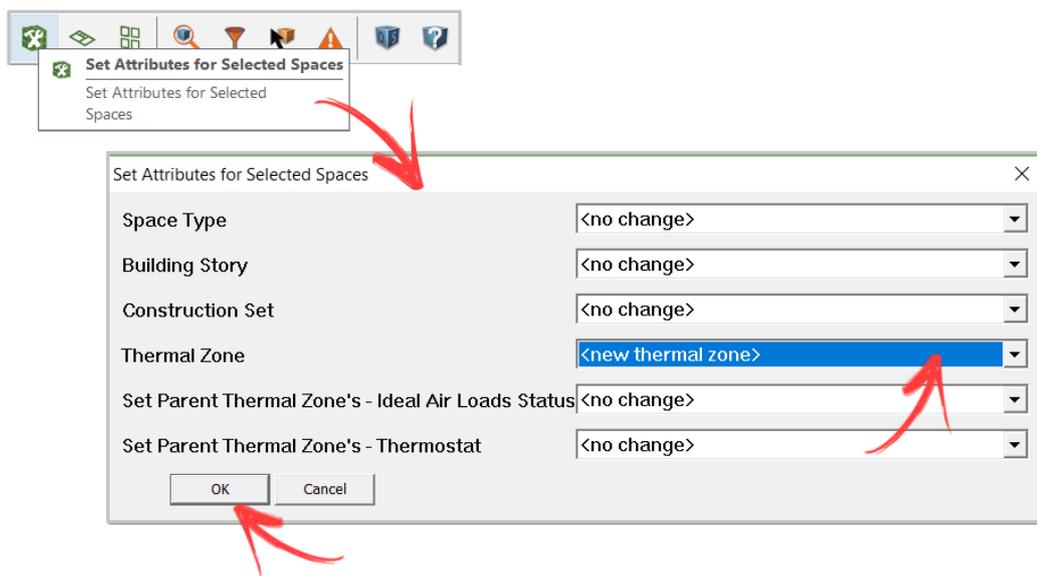
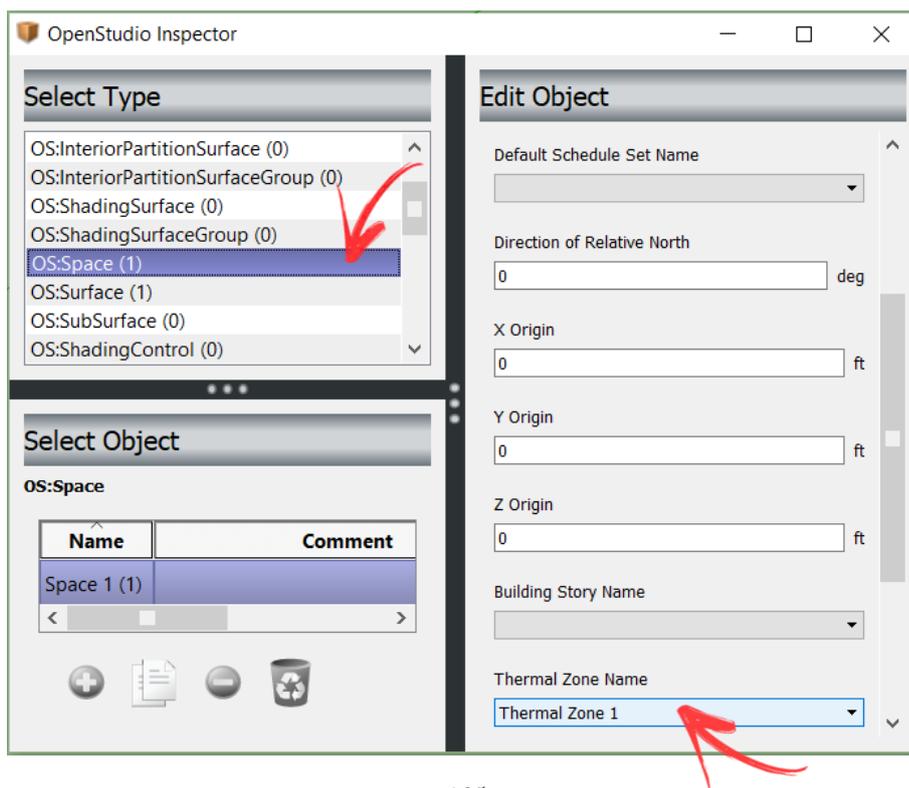
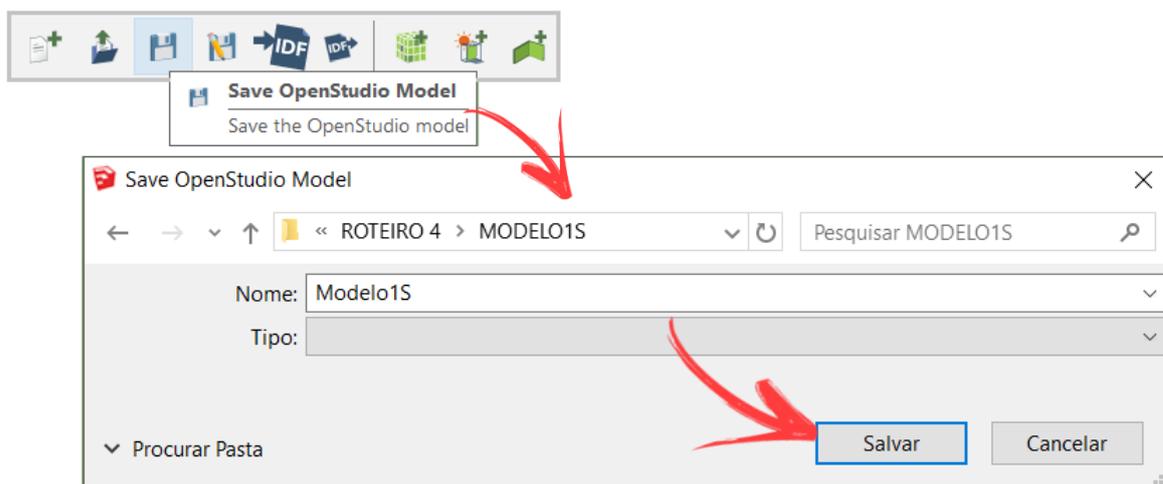


Figura 89: Atribuindo a zona térmica criada ao *Space* no *plugin* do *OpenStudio®*



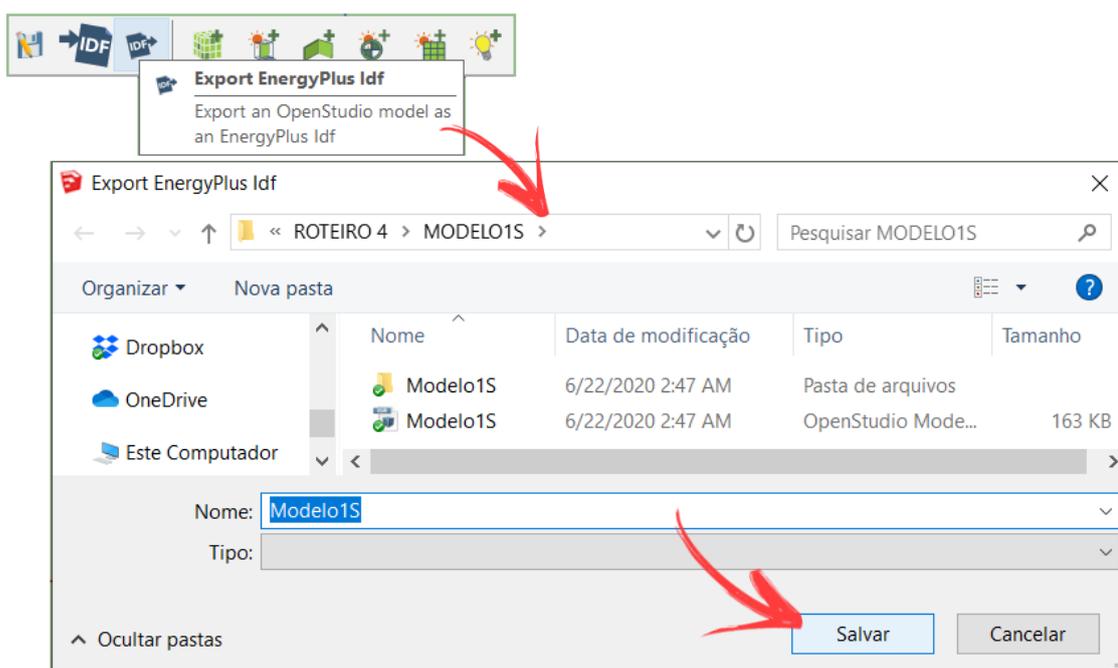
Então, salve a superfície como “Modelo1S” no botão *Save Open Studio Model*, com extensão de arquivo “.osm”.

Figura 90: Salvando a superfície modelada no *plugin OpenStudio®*



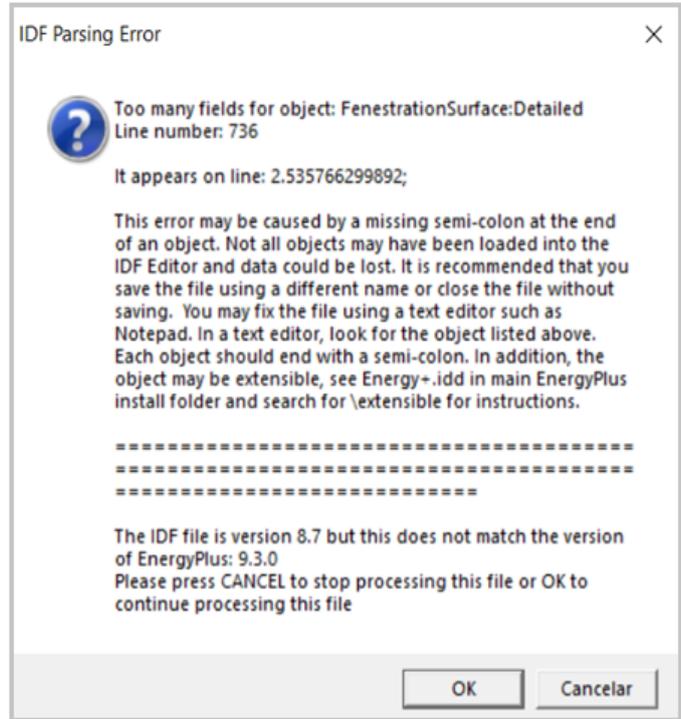
Por fim, exporte-o em *Export EnergyPlus idf*, para gerar o arquivo .idf que será lido pelo *EnergyPlus™*.

Figura 91: Exportando a superfície modelada em um arquivo .idf para uso no *EnergyPlus™*



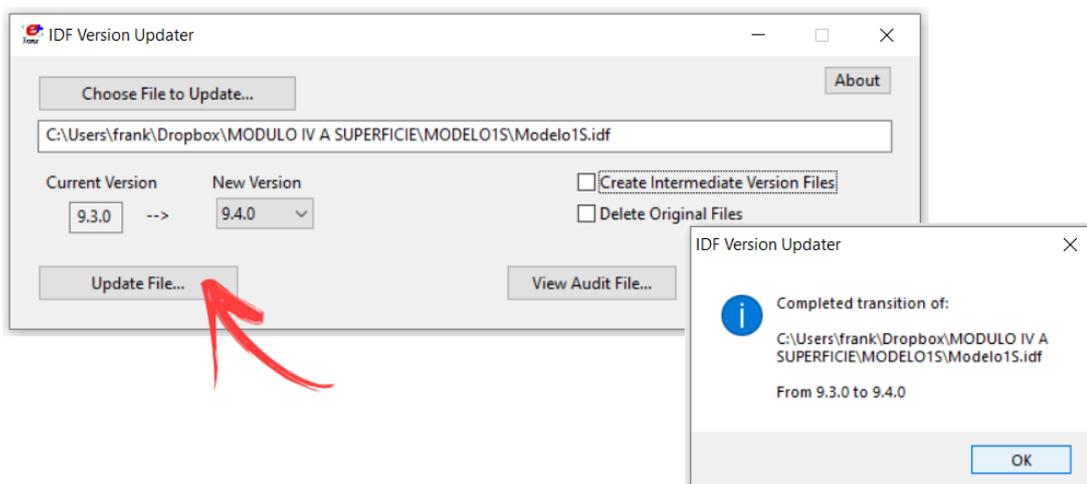


**ATENÇÃO!!!** A versão do *OpenStudio*® utilizada gera arquivos *idf*'s próprios para o *EnergyPlus*™ 9.4.0. Entretanto, as versões mais antigas do *OpenStudio*® não exportam *idf*'s compatíveis com a versão 9.4.0, mas sim para a versão mais recente do *EnergyPlus*™ disponível na época. Logo, se tentássemos abrir um *.idf* gerado a partir da versão 2.9.0 do *OpenStudio*®, ocorreriam erros (tais como o da figura ao lado) devido à incompatibilidade entre as versões.



Para sanar o erro acima mencionado, abra o aplicativo do *IDF Version Updater*  no diretório do *EnergyPlus*™ ou com uma busca no Menu Iniciar. Localize o arquivo *.idf* a ser compatibilizado no botão *Choose File to Update ...* Depois de selecioná-lo, clique em *Update File...*, conforme a Figura 92 (você poderá tanto criar arquivos intermediários entre as versões quanto deletar o arquivo de origem, se assim desejar).

Figura 92: Atualizando a versão de um arquivo *.idf* no *IDF Version Updater*

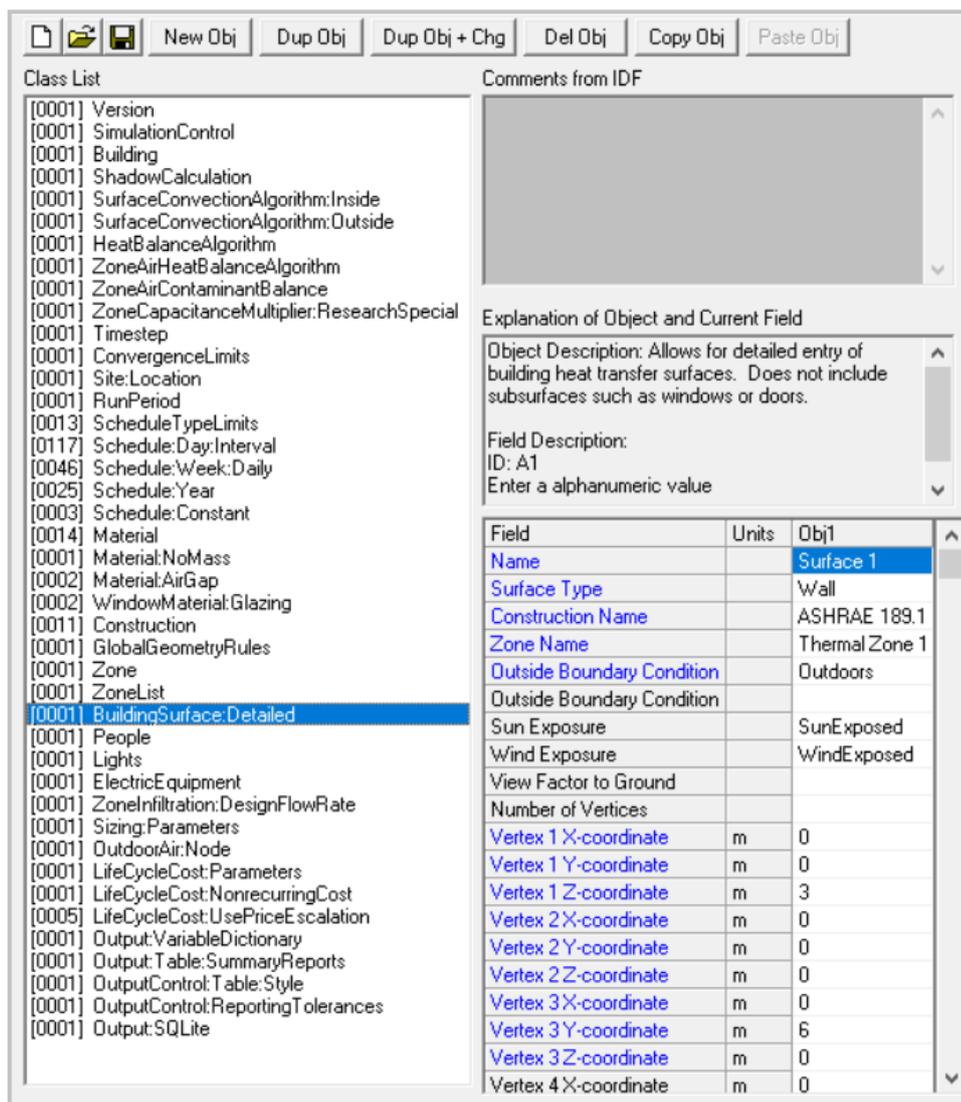


## ROTEIRO IV-b

# SIMULANDO UMA SUPERFÍCIE NO *ENERGYPLUS™*

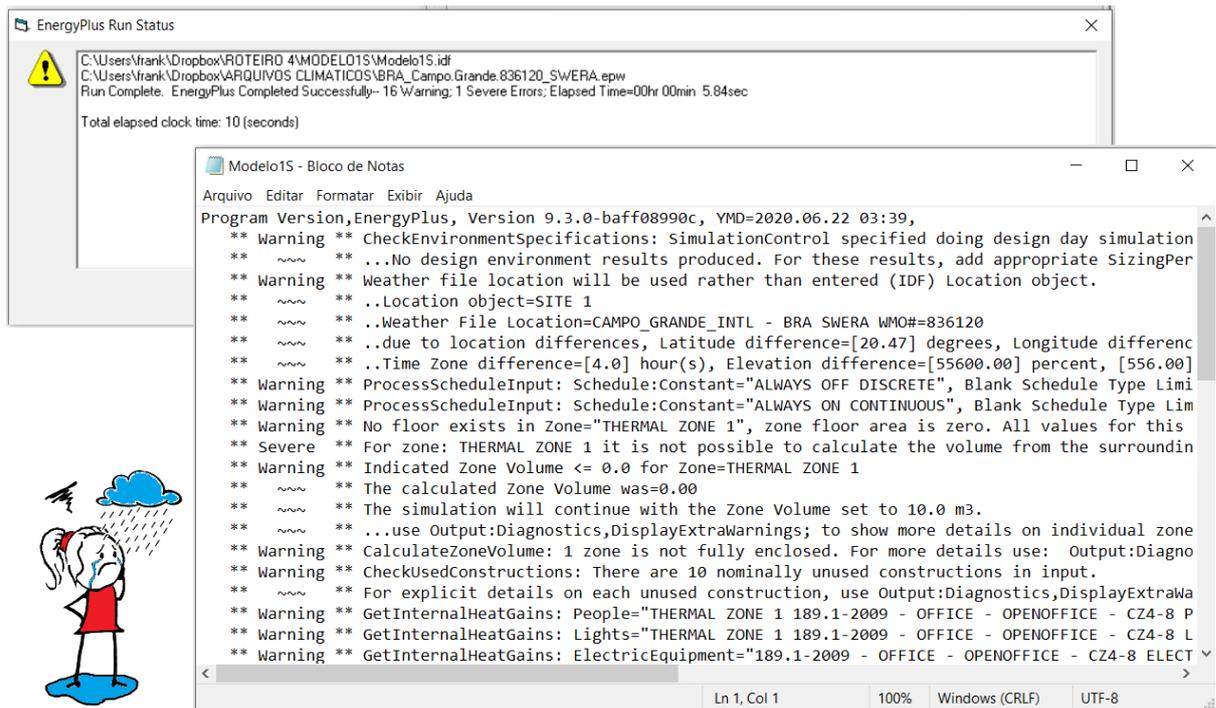
Execute o *EP-Launch* e localize o arquivo *.idf* do modelo criado. Depois, abra o *IDF Editor*. Manteremos a demonstração para o arquivo climático de entrada de Campo Grande/MS, do tipo SWERA. Veja que há uma série de objetos na *Class List* (o *plugin OpenStudio®* cria muitos objetos adicionais, mas nem todos são utilizados). Abaixo, em *BuildingSurface:Detailed* você confere os detalhes da superfície (parede) modelada no *plugin*.

Figura 93: Detalhes do objeto *Surface1* do *Modelo1S.idf* visto a partir do *BuildingSurface:Detailed*



Para facilitar a demonstração, vamos primeiro simular e depois ajustaremos o modelo de acordo com os *warnings* retornados pelo programa. Então, feche o Modelo1S e simule-o a partir do *EP-Launch*. Uma vez concluída a simulação, o programa retornará uma série de *Warnings* em relação ao *location* e dias típicos.

Figura 94: Visualização do log de erros após a simulação do arquivo *Modelo1S.idf*



## MODELO1S\_a.idf

Primeiro, ajustaremos a configuração dos dados de clima para o município de Campo Grande/MS. O procedimento é análogo ao demonstrado para o *Minimal.idf* no Roteiro III-b. Então, abra o arquivo *.ddy* de Campo Grande e copie o único objeto do *Site:Location* e o 2° e 8° objetos do *SizingPeriod:DesignDay* e cole-os nas referidas classes dentro do Modelo1S. Se tiver alguma dúvida neste processo, retorne ao Roteiro III-b e acompanhe este procedimento de um modo mais detalhado.

Em seguida, salve o *idf* como “Modelo1S\_a” e, então, simule-o. Os *warnings* relativos à localização desaparecerão, mas ainda há alguns ajustes a serem feitos.

## MODELO1S\_b.idf

Abra o arquivo recém criado do Modelo1S\_a no *IDF Editor*. Vamos deletar os objetos que não estão sendo utilizados no momento (lembre-se que estes são fruto dos dados de entrada pré-definidos pelo assistente de configuração de objetos do *plugin OpenStudio®* no começo do roteiro anterior). Localize as seguintes classes e apague todos os objetos nelas constantes:

```
Schedule:Day:Interval  
Schedule:Week:Daily  
Schedule:Year  
ZoneList  
WindowProperty:FrameAndDivider  
People  
Lights  
ElectricEquipment  
Zoneinfiltration:DesignFlowRate  
SizingParameters  
OutdoorAir:Node  
LifeCycleCost:Parameters  
LifeCycleCost:NonrecurringCost  
LifeCycleCost:UsePriceEscalation  
Output:SQLite
```

Algumas das classes citadas são muito grandes, como o *Schedule:Day:Interval* (o qual contém um total de 117 objetos). Para ganhar tempo, selecione todos os objetos da classe de uma só vez (basta clicar em cima do *Obj1*, manter pressionado e arrastar o *mouse* em direção aos demais) e, então, clicar no botão *Del Obj*.

Uma vez que foram apagadas todas as classes inutilizadas, passemos à configuração dos objetos para simulação, começando pelo *Simulation:Control*. Seleccionamos para a simulação rodar apenas para os períodos de dimensionamento (*Run Simulation for Sizing Periods > Yes*), sem dimensionamento de AVAC, conforme demonstrado na Figura 95.

~~~~~  
OBSERVAÇÃO!!! Lembre-se que as descrições completas sobre o significado de cada campo dos objetos e os modos de configurá-los são apresentados detalhadamente nos manuais de referência do *EnergyPlus™* (DOE, 2020b; DOE, 2020c). Em caso de dúvida sobre como preencher as classes / objetos / campos, consulte esses documentos (principalmente o *Input Output Reference*), visto que, neste manual, apresentamos um apanhado geral da configuração de arquivos formato *.idf* para simulação no *EnergyPlus™*.
~~~~~



Figura 95: Configuração do *Obj1* do *Simulation:Control* no modelo de uma superfície estudado

| Field                                           | Units | Obj1 |
|-------------------------------------------------|-------|------|
| Do Zone Sizing Calculation                      |       | No   |
| Do System Sizing Calculation                    |       | No   |
| Do Plant Sizing Calculation                     |       | No   |
| Run Simulation for Sizing Periods               |       | No   |
| Run Simulation for Weather File Run Periods     |       | Yes  |
| Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods    |       | No   |
| Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes |       | 1    |

Em *Building* mantemos o nome *Building 1* e preenchemos os demais parâmetros gerais da orientação da superfície (para o Norte), o tipo de entorno (cidade), valores de convergência de carga e temperatura padrão (*default*, que corresponde a 0,04 e 0,4, respectivamente), o tipo de distribuição solar (como sendo *FullExterior*, visto que não há nenhum piso presente na zona – caso da parede que modelamos – significando que todo feixe de radiação solar será absorvido diretamente pela superfície).

Para os parâmetros de números máximo e mínimo de dias de “aquecimento” que podem ser usados na simulação antes que a “convergência” seja alcançada, adotou-se o número padrão de 25 dias (mais do que suficiente para esta tarefa) e escolheu-se arbitrariamente o mínimo de 6 dias, valor frequentemente utilizado segundo o DOE (2020b), embora o *default* seja 1.

Figura 96: Configuração de um objeto do *Building* no modelo de uma superfície estudado

| Field                                   | Units  | Obj1         |
|-----------------------------------------|--------|--------------|
| Name                                    |        | Building 1   |
| North Axis                              | deg    | 0            |
| Terrain                                 |        | City         |
| Loads Convergence Tolerance Value       | W      | 0.04         |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0.4          |
| Solar Distribution                      |        | FullExterior |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25           |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6            |

Quanto ao *RunPeriod*, definiu-se o período de simulação para um ano todo (de primeiro de janeiro a 31 de dezembro), iniciando na quinta-feira (*Thursday*), sem fixar anos específicos para início e fim. Ademais, não serão considerados os feriados, horário de verão e os dados de neve, mantendo-se apenas os indicadores de chuva.

Figura 97: Configuração do *RunPeriod* do arquivo Modelo1S\_a

| Field                                      | Units | Obj1                     |
|--------------------------------------------|-------|--------------------------|
| Name                                       |       | Run Period 1             |
| Begin Month                                |       | 1                        |
| Begin Day of Month                         |       | 1                        |
| Begin Year                                 |       |                          |
| End Month                                  |       | 12                       |
| End Day of Month                           |       | 31                       |
| End Year                                   |       |                          |
| Day of Week for Start Day                  |       | Thursday                 |
| Use Weather File Holidays and Special Days |       | No                       |
| Use Weather File Daylight Saving Period    |       | No                       |
| Apply Weekend Holiday Rule                 |       | No                       |
| Use Weather File Rain Indicators           |       | Yes                      |
| Use Weather File Snow Indicators           |       | No                       |
| Treat Weather as Actual                    |       | <input type="checkbox"/> |

O objeto da classe *OutputControl:Table:Style* foi configurado para o formato HTML (arquivo *.htm*) para facilitar visualização dos valores em formato tabular. Para conversão de unidades, considerou-se a opção *JtoKWH*, isto é, Joules convertidos em kWh (1 / 3.600.000).

Figura 98: Configuração do *Obj1* da classe *OutputControl:Table:Style*

| Field            | Units | Obj1                                |
|------------------|-------|-------------------------------------|
| Column Separator |       | HTML                                |
| Unit Conversion  |       | <input type="text" value="JtoKWH"/> |

Por fim, é preciso adicionar alguns objetos na classe do *Output:Variable* (use o Ctrl + F na *Class List* para facilitar a busca), referentes às seguintes saídas:

*Surface Inside Face Temperature*  
*Surface Outside Face Temperature*  
*Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Energy*  
*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*  
*Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area*

Preencha-as manualmente (ou copie ou selecione-as) no campo do *Variable Name*, conforme demonstrado na figura 99.

Figura 99: Preenchimento dos dados de saída nos objetos do *Output:Variable*

| Field               | Units | Obj1           | Obj2                 | Obj3                | Obj4                 | Obj5            |
|---------------------|-------|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------|
| Key Value           |       | *              | *                    | *                   | *                    | *               |
| Variable Name       |       | Surface Inside | Surface Outside Face | Surface Inside Face | Site Outdoor Air Dry | Surface Outside |
| Reporting Frequency |       | Hourly         | Hourly               | Hourly              | Hourly               | Hourly          |
| Schedule Name       |       |                |                      |                     |                      |                 |

Feito isso, salve o arquivo como “Modelo1S\_b”. Feche o *IDF Editor* e simule. Veja que agora restaram *warnings* relativos à zona térmica (nenhum piso foi modelado e configurado, por exemplo) e a alguns materiais (que estão inutilizados).

Figura 100: *Warnings* retornados pós-simulação do arquivo Modelo1S\_b no *EnergyPlus™*

```

Modelo1S_b - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Program Version,EnergyPlus, Version 9.3.0-baff08990c, YMD=2020.06.23 08:28,
** Warning ** No floor exists in Zone="THERMAL ZONE 1", zone floor area is zero. All values for this zone that are entered per f
** Severe ** For zone: THERMAL ZONE 1 it is not possible to calculate the volume from the surrounding surfaces so either provid
** Warning ** Indicated Zone Volume <= 0.0 for Zone=THERMAL ZONE 1
** ~~~~ ** The calculated Zone Volume was=0.00
** ~~~~ ** The simulation will continue with the Zone Volume set to 10.0 m3.
** ~~~~ ** ..use Output:Diagnostics,DisplayExtrawarnings; to show more details on individual zones.
** Warning ** CalculateZoneVolume: 1 zone is not fully enclosed. For more details use: Output:Diagnostics,DisplayExtrawarnings;
** Warning ** CheckUsedConstructions: There are 10 nominally unused constructions in input.
** ~~~~ ** For explicit details on each unused construction, use Output:Diagnostics,DisplayExtrawarnings;
*****
Testing Individual Branch Integrity
*****
All Branches passed integrity testing
*****
Testing Individual Supply Air Path Integrity
*****
All Supply Air Paths passed integrity testing
*****
Testing Individual Return Air Path Integrity
*****
All Return Air Paths passed integrity testing
*****
No node connection errors were found.
*****
Beginning Simulation
*****
Simulation Error Summary *****
*****
There are 2 unused schedules in input.
*****
There are 2 unused week schedules in input.
*****
There are 2 unused day schedules in input.

```

Abra o arquivo *.csv* com os resultados. Observe que foram retornados dados horários de um ano completo (8.760h) para os seguintes parâmetros (traduzidos do inglês):

- Temperatura de bulbo seco [°C]*
- Taxa de radiação solar incidente por área de superfície externa [W/m<sup>2</sup>]*
- Temperatura da face interna da superfície [°C]*
- Temperatura da face externa da superfície [°C]*
- Energia de transferência de calor por condução na face interna da superfície [J]*

Abaixo, um exemplo dos resultados tabulados conforme os dados de saída configurados no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

Figura 101: Dados de saída tabulados pós-simulação do Modelo1S\_b

| Date/Time      | Environment:Site | SURFACE 1:Surf | SURFACE 1:Surf | SURFACE 1:Surf | SURFACE 1:Surf |
|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 01/01 01:00:00 | 22.83333333      | 0              | 41.12427769    | 30.757147      | -3126.566376   |
| 01/01 02:00:00 | 21.88333333      | 0              | 40.85419837    | 29.5854806     | -4202.118319   |
| 01/01 03:00:00 | 21.91666667      | 0              | 40.50743484    | 28.94782932    | -5372.944825   |
| 01/01 04:00:00 | 21.41666667      | 0              | 40.08914145    | 28.39417129    | -6480.262563   |
| 01/01 05:00:00 | 21.23333333      | 0              | 39.606915      | 27.89384127    | -7463.945688   |
| 01/01 06:00:00 | 21.75            | 227.2656579    | 39.07185603    | 33.08859204    | -8266.547407   |
| 01/01 07:00:00 | 23.75            | 466.7222464    | 38.4977378     | 41.43088505    | -8815.111534   |
| 01/01 08:00:00 | 27.21666667      | 616.3630717    | 37.92074799    | 48.8242519     | -8592.693551   |
| 01/01 09:00:00 | 29.44166667      | 704.0375165    | 37.4222092     | 55.65132857    | -6924.618826   |
| 01/01 10:00:00 | 30.54166667      | 526.0107052    | 37.09975744    | 54.34887164    | -4027.468424   |
| 01/01 11:00:00 | 31.35            | 415.1453456    | 37.03176705    | 51.74456318    | -214.7395399   |
| 01/01 12:00:00 | 32.41666667      | 208.086337     | 37.23274825    | 46.56142956    | 3766.842658    |
| 01/01 13:00:00 | 33.58333333      | 166.4385246    | 37.64535268    | 45.15232934    | 6849.347279    |
| 01/01 14:00:00 | 34.11666667      | 158.6900765    | 38.1760243     | 45.15634205    | 8294.201973    |
| 01/01 15:00:00 | 34.08333333      | 145.9602505    | 38.73751495    | 44.85863253    | 8470.809607    |
| 01/01 16:00:00 | 34.58333333      | 121.1443673    | 39.28261019    | 44.19420139    | 8070.723207    |
| 01/01 17:00:00 | 34.53333333      | 77.42839095    | 39.79306385    | 42.61059564    | 7455.631937    |
| 01/01 18:00:00 | 32.91666667      | 35.51736839    | 40.25962157    | 40.29497224    | 6719.257974    |

Aproveite e faça gráficos para analisar e interpretar esses valores. Você poderá observar as considerações enunciadas no Roteiro II-b para a temperatura do ar e radiação solar. Perceba que ambos parâmetros acompanham a quantidade de horas de sol durante o dia e a intensidade de radiação emanada pelo astro no decorrer das estações do ano. Retorne ao referido roteiro se tiver dúvidas de como criar gráficos para essas variáveis.

Note também que aparece um sinal negativo na “Energia de transferência de calor por condução na face interna da superfície” em alguns períodos do dia. Isso indica que o calor está fluindo da face interna (de maior temperatura) em direção à face externa da parede (de menor temperatura). Esse fenômeno inicia-se no fim da noite, transcorre durante toda a madrugada e finda no começo da manhã. No restante do dia (final da manhã, toda a tarde e começo da noite), o cenário se inverte (sinal positivo), indicando que a face interna da superfície está ganhando energia térmica (o calor está sendo conduzido da face externa para o interior da parede).

Mas repare nos gráficos abaixo (Figuras 102 e 103). Eles correlacionam as variáveis de temperatura do ar, temperaturas superficiais (nas faces externas e internas) da parede e a energia de transferência de calor por condução na face interna da superfície (eixo secundário). Os dados foram selecionados para os dias com valores extremos de temperatura de bulbo seco de Campo

Grande/MS, ou seja, para o dia mais quente (máxima de 35,83°C em 17/09) e mais frio (mínima de 3,29°C em 18/05) do ano hipotético (lembre-se que estamos utilizando um arquivo SWERA, que é do tipo TMY).

Figura 102: Correlação entre as temperaturas do ar e superfície com a energia de transferência de calor para o dia mais quente de um ano hipotético representativo do clima de Campo Grande/MS

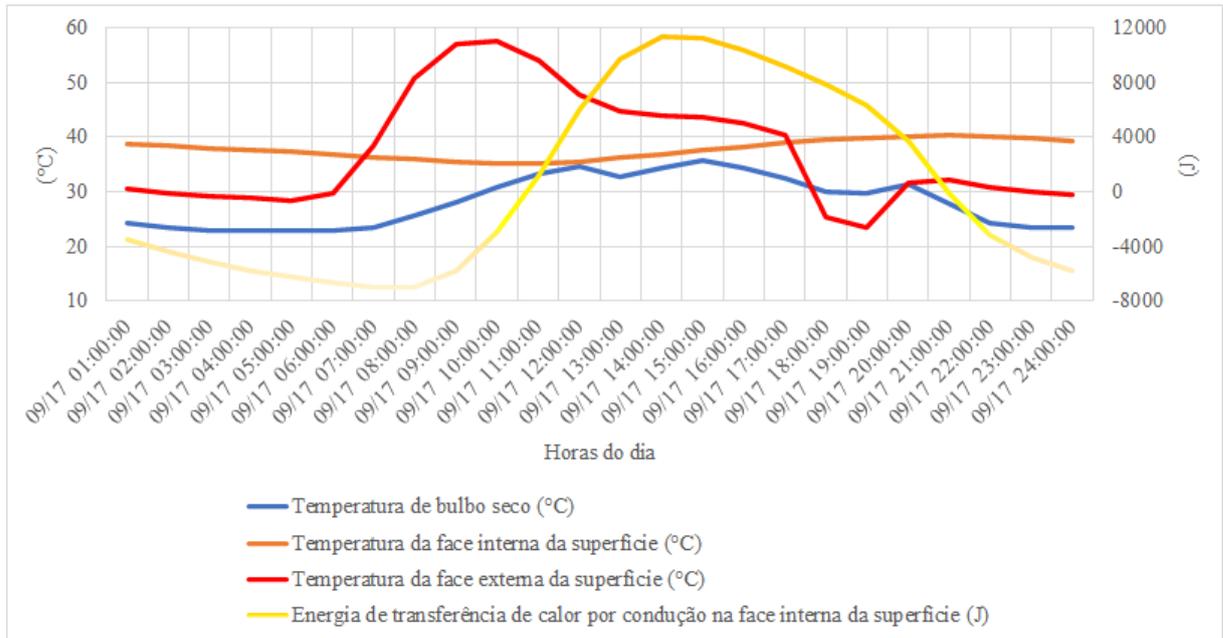
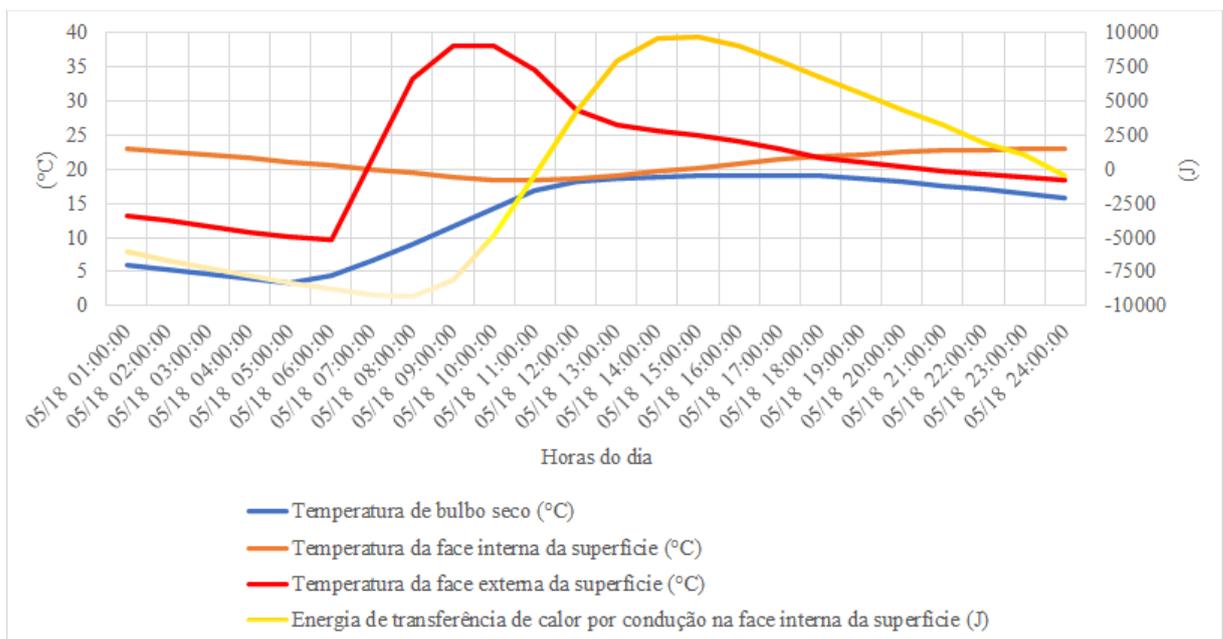


Figura 103: Correlação entre as temperaturas do ar e superfície com a energia de transferência de calor para o dia mais frio de um ano hipotético representativo do clima de Campo Grande/MS



Percebeu o atraso térmico? A face externa começa a “ganhar” calor a partir do nascer do sol e atinge o ápice por volta do meio-dia (processo natural). Contudo, apenas cerca de 3 a 4h depois ocorre a inflexão na curva da energia de transferência de calor por condução na face interna da parede (indicando que o interior está ganhando calor), de modo que a temperatura da face interna só ultrapassa a da face externa durante a noite e madrugada, mas cai durante o dia (como consequência deste “atraso”).

Esse pode ser um indicativo de que os materiais e espessura considerados na superfície conferiram a ela uma elevada inércia térmica (se você já estudou o apêndice do módulo II e acessou as ferramentas nele indicadas, sabe do que estamos falando). Neste caso, há um atraso térmico no fluxo de calor devido à alta capacidade de armazenar calor dos materiais utilizados na parede, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem (o calor é liberado durante a noite para o interior da zona térmica) e um amortecimento em relação ao exterior (a zona térmica fica mais “fresca” durante o dia).

Essa característica é particularmente benéfica em regiões de clima seco onde há uma grande amplitude térmica externa entre os períodos diurnos e noturnos ( $> 7\text{ °C}$ ). Com base no exposto, você acredita que a inércia térmica para aquecimento é adequada para as edificações de Campo Grande/MS?

Entretanto, esses resultados são para os materiais pré-configurados pelo *OpenStudio*®, pois não criamos e nem atribuímos materiais para a superfície em questão. Evidentemente, a transferência de calor ocorreria de maneira mais rápida ou mais lenta dependendo do material construtivo empregado.

O projetista, portanto, deve procurar tirar o maior proveito das informações disponíveis sobre a transmissão de calor para o interior do edifício de acordo com as condições climáticas do local, a fim de especificar os materiais mais adequados para a construção (tipos, espessuras dos elementos constituintes, cor etc.).

Mas para conhecer melhor o comportamento térmico dos componentes construtivos, é necessário estudar as propriedades dos materiais (resistência térmica, transmitância, capacidade térmica, fator solar, entre outras). Diante disso, vamos aprender sobre as principais propriedades térmicas dos materiais construtivos e, então, configurar alguns materiais de exemplo para uma superfície e simulá-la no *EnergyPlus*™.

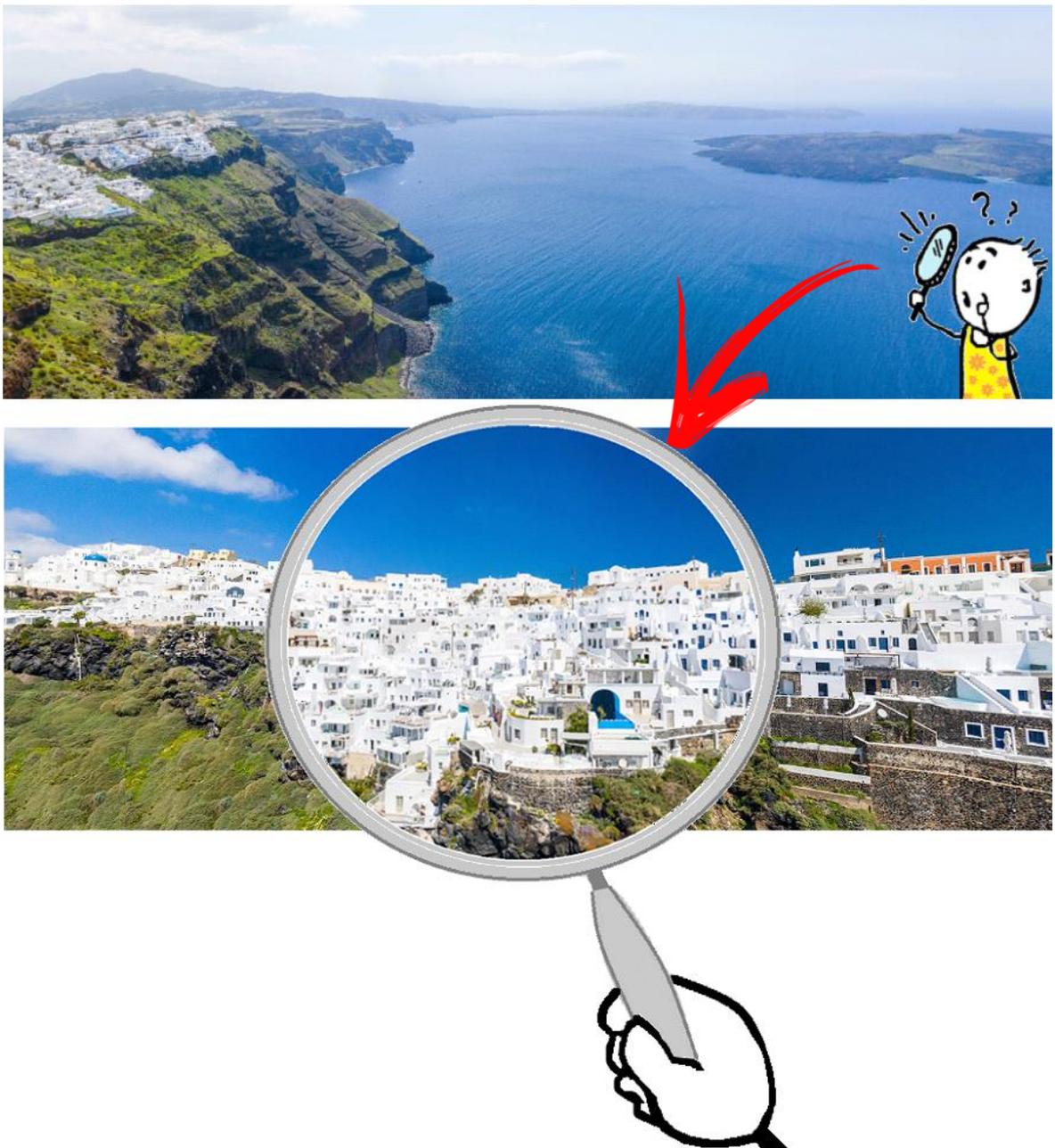
## CAPÍTULO SÉTIMO

# AS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

---

Ah... O mar grego de Santorini é realmente de tirar o fôlego! Mas, espere... Parece que algo no topo da montanha chamou a atenção de Ernesto Plus. Vamos olhar mais de perto!

Figura 104: Edificações típicas de Santorini, na Grécia



Notou que as edificações que compõem o cenário são majoritariamente pintadas na cor branca? Ora, os elementos construtivos (tanto os opacos quanto os translúcidos) que constituem a envoltória possuem desempenhos diferentes em função da radiação solar incidente. Acontece que nas regiões mediterrâneas (como a de Santorini), diversos são os exemplos de edificações que utilizam cores de baixa absorvância solar (cores claras) como forma de diminuir o ganho de calor pelas envoltórias.

Vimos que a radiação solar atinge as superfícies do envelope e, então, parte do calor é absorvida pelo elemento construtivo e parte é refletida. A parte absorvida é transmitida para o ambiente interno (por meio dos mecanismos de convecção, condução e radiação). Sendo assim, o consumo de energia com resfriamento mecânico pode ser significativamente reduzido ao se limitar o ganho de calor solar através do envelope, o qual depende da intensidade da radiação solar incidente e da absorvância solar da superfície externa (DORNELLES, 2008).

Corroborando com Dornelles (2008), Taha *et al.* (1988) afirmam que o uso de cores de baixa absorvância no exterior de edificações sem isolamento térmico é uma maneira eficaz de diminuir as cargas de energia com refrigeração. Como o balanço térmico de uma edificação é dependente da radiação solar incidente sobre suas superfícies externas, as absorvâncias dessas superfícies são muito importantes para determinar o efeito que a radiação solar terá sobre o desempenho da edificação. Conhecer esta propriedade possibilita ao projetista melhorar o conforto térmico no interior das edificações naturalmente ventiladas ou reduzir a operação do ar condicionado durante as estações mais quentes do ano (MULHALL; AYSLEY, 1999).

A absorvância solar, portanto, é a propriedade que mede o “poder” de um dado material “absorver” a radiação solar nele incidente. A normativa NBR 15.220:2005 define-a como sendo “o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005), sendo uma grandeza adimensional representado pela letra grega “ $\alpha$ ”.

Outrossim pintar a cobertura com cores altamente refletivas possibilita diminuir o ganho de calor solar através da mesma e mantém a capacidade do edifício perder calor rapidamente após o pôr do sol (MULHALL; AYSLEY, 1999). O uso de coberturas com elevada refletância solar pode diminuir consideravelmente a temperatura do ar no interior das edificações e, em uma escala microclimática, diminuir as temperaturas do ambiente urbano e das “ilhas de calor” (CHENG, 2004). Além disso, uma alta refletância permite diminuir o uso de energia em climas onde predomina a necessidade de uso de refrigeração (TAHA *et al.*, 1988).

Novamente, perceba como muitos dos telhados de Santorini são pintados em branco ou em outras cores claras, as quais possuem alta refletividade. Logo, a propriedade da refletância solar pode ser entendida como a capacidade do material em refletir a energia solar incidente em sua superfície de volta à atmosfera, sendo representada na literatura pela letra “ $\rho$ ”.

Nos fechamentos opacos, a transmissão do calor acontece pela diferença de temperatura entre o interior e exterior da superfície, conforme vimos no capítulo anterior. Nos fechamentos transparentes (que compreendem janelas e demais elementos transparentes), além das trocas térmicas por condução e convecção, a radiação torna-se o fator preponderante no processo de transferência de calor. Isso se deve à parcela diretamente transmitida para o interior da zona térmica (inexistente nos fechamentos opacos), a qual depende da transmissividade do vidro ( $\tau$ ) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A transmitância à radiação solar, portanto, é a propriedade que mede a taxa de radiação solar que atravessa um elemento em relação à taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento. Veja como não há a ocorrência de “fachadas envidraçadas” e grandes aberturas nas edificações costeiras de Santorini, mas sim de portas e janelas comedidas adequadas à realidade do clima local.

Essa “digressão” apresentada tomando a cidade grega com exemplo é um pano de fundo para lhe mostrar a importância da definição das propriedades dos materiais a serem empregados em uma construção. De acordo com Kubo (2017), o desempenho da envoltória é influenciado pelos valores da absorptância, refletância e da transmitância à radiação solar dos materiais, onde a soma das três variáveis corresponde a 1,0. Um material de cor escura possui alta absorptância e baixa refletância, logo, absorve mais e reflete menos radiação solar em relação a um material de coloração clara. Um material transparente permite que a radiação solar adentre o interior da superfície, enquanto que o material opaco não tem a parcela de transmitância solar, e assim por diante. Abaixo, fixamos algumas notas sobre as principais propriedades térmicas dos materiais além das anteriormente relatadas.



### *Condutividade térmica ( $\lambda$ )*

A propriedade que quantifica a capacidade dos materiais de conduzirem energia térmica é a condutividade térmica, expresso em (W/m·K). Logo, materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida, enquanto aqueles de baixa condutividade o fazem de forma mais lenta.



### *Transmitância térmica (U)*

A transmitância térmica ( $W/m^2K$ ) é uma propriedade de “condutividade” global do material e representa o tanto que ele permite de passagem de calor. Depende da espessura, da condutividade térmica e da área do material.



### *Resistência térmica (R)*

A resistência térmica – expressa em ( $m^2K/W$ ) – refere-se à resistência de elementos e componentes à passagem de calor. Quanto maior a espessura do elemento construtivo, maior será a resistência térmica.



### *Capacidade térmica ( $C_T$ )*

É a propriedade de reter o calor que passa pelo componente. Depende da massa específica, do calor específico e da espessura do elemento, sendo expressa pela unidade ( $J/m^2K$ ).



### *Emissividade ( $\epsilon$ )*

A propriedade radiante de uma superfície é a emissividade, a qual mede a capacidade de um material emitir energia por radiação em relação a um componente ideal, conhecido como corpo negro ( $0 \leq \epsilon \leq 1$ ), que, em tese, é um corpo capaz de absorver toda a radiação eletromagnética que nele incide, sem que nenhuma onda o atravesse ou seja refletida. A emissividade depende do tipo de material usado na superfície, seu acabamento e sua cor.



### *Fator solar (FS)*

É a propriedade que representa a fração de calor que é transmitido (elemento opaco) ou que entra no ambiente (elemento transparente) em relação à quantidade de calor incidente. Seu valor varia conforme o ângulo de incidência da radiação solar e as características do material aplicado. O fator solar é adimensional e tem grande importância nos cálculos de ganhos de calor ao avaliar o desempenho térmico das edificações.



**Para saber mais** sobre os parâmetros envolvidos no cálculo das propriedades térmicas dos materiais construtivos, consulte a parte 2 da NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005). Leia também o Apêndice deste módulo e procure praticar os procedimentos demonstrados. Para saber mais sobre os tipos de materiais e como utilizá-los em estratégias de arquitetura de acordo com suas propriedades térmicas, leia Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a partir do Capítulo 7 (os autores também abordam o cálculo das propriedades térmicas dos materiais).

Somada a essas propriedades, destacamos ainda a característica do atraso térmico, o qual representa o intervalo de tempo que o calor “demora” para atravessar um material, dependendo de sua capacidade e resistência térmica. E, quanto maior o calor retido no interior do material, maior é sua inércia térmica, e este pode ser devolvido aos ambientes internos das edificações quando necessário.

Note que são múltiplos os fatores que influenciam no ganho de calor: espessura e tipo dos materiais construtivos, suas propriedades de resistir à passagem de calor e de armazená-lo em seu interior, a cor com que fora pintado e a rugosidade, o tamanho das aberturas e o tipo de vidro utilizado, a presença ou não de proteções solares, ou de áticos e demais sombreamentos, a orientação da edificação (coberturas e paredes orientadas a oeste nos períodos do dia em que a temperatura é mais alta potencializa o fluxo de calor para os ambientes internos), além das condicionantes do clima, do entorno, entre muitas outras.

E onde é possível obter dados para as propriedades térmicas dos materiais construtivos? A lista abaixo apresenta algumas fontes para extrair valores tabelados e consultar informações acerca dos materiais e componentes da construção civil.

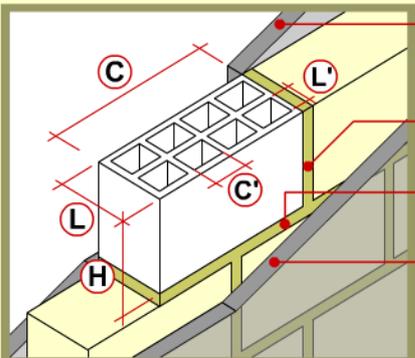
Tabela 4: Bases de dados para as propriedades térmicas dos materiais de construção

|                      | Fonte                          | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Normativas e manuais | NBR 15220:2005<br>(ABNT, 2005) | A segunda parte da normativa de desempenho térmico de edificações, NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005) apresenta as equações, tabelas e exemplos de cálculos da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.<br><br>O Anexo B contém tabelas informativas de valores para: (i) as propriedades de absorvância solar (ondas curtas) e emissividade para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) de alguns tipos de superfícies e cores (pintura); e, (ii) para a densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico para diversos materiais construtivos, alguns plásticos e vidro comum. |

|                       |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Normativas e manuais  | RAC, Anexo V<br>(BRASIL, 2013)                  | <p>O “Anexo Geral V” do RAC (Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações) apresenta catálogos de propriedades térmicas (para transmitância e capacidade térmicas) de paredes e coberturas de acordo com as características do componente construtivo (tipo, materiais utilizados em sua composição, espessura de cada elemento). Além disso, o anexo V bebe da fonte de Dornelles (2008) e expõe os resultados da autora para vários tipos de tintas e cores aplicáveis em paredes e coberturas. Ao final, é possível ainda encontrar uma base de dados para diversos tipos de vidros, contendo especificações técnicas (produto, fabricante, dimensões etc.) e valores de condutividade e transmitância térmicas e fator solar. O Anexo V pode ser acessado em:</p> <p>&lt; <a href="http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/anexos-rac">http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/anexos-rac</a> &gt;.</p> |
|                       | ASHRAE<br><i>Fundamentals</i><br>(ASHRAE, 2017) | <p>O <i>Handbook of Fundamentals</i> da ASHRAE é uma das principais referências (se não a principal) quando o assunto é base de dados relativos a diversos tópicos que formam o campo do aquecimento, refrigeração e ventilação das edificações.</p> <p>A partir do Capítulo 26 do manual, é possível encontrar informações reunidas em uma série de tabelas relacionadas às propriedades térmicas de diversos tipos de materiais. Na <i>internet</i>, você consegue localizar versões mais antigas disponíveis para visualização.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Pesquisas científicas | Dornelles (2008)                                | <p>A tese de Dornelles (2008) detalha os métodos para determinação da absorvância solar de superfícies opacas representadas por revestimentos de paredes e coberturas pintadas em diversas tonalidades. Os valores de absorvância são apresentados em termos percentuais e podem ser acessados a partir da página 85 do trabalho da autora, disponível para download em: &lt; <a href="http://repositorio.unicamp.br/">http://repositorio.unicamp.br/</a> &gt;.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                       | Weber <i>et al.</i> (2017)                      | <p>Weber <i>et al.</i> (2017) caracterizaram diversos componentes construtivos adequados à realidade brasileira para uso no programa <i>EnergyPlus</i><sup>TM</sup>. A biblioteca encontra-se disponível em: &lt; <a href="http://labeee.ufsc.br/node/714">http://labeee.ufsc.br/node/714</a> &gt;.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Outras bases de dados | Plataformas web                                 | <p>Há uma ampla gama de “web apps” disponíveis na internet. Esses mecanismos calculam as propriedades térmicas de componentes construtivos.</p> <p>Neste segmento, destacamos a plataforma do “ProjetEEE”, a qual contém uma biblioteca de dados acerca do fator solar para diversos tipos de vidro e das propriedades de resistência, transmitância, atraso e capacidade térmicas para uma série de componentes construtivos, disponível em:</p> <p>&lt; <a href="http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/">http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/</a> &gt;.</p> <p>No site é possível encontrar a “Calculadora de Propriedades”, a qual permite ao usuário modelar os materiais e componentes construtivos de maneira personalizada e colher os valores de resistência, atraso, capacidade e transmitância térmicas. Lembre-se que há um tutorial de uso da plataforma no Apêndice do Módulo II.</p>                 |
|                       | Programas computacionais                        | <p>Há, também, o programa computacional para o cálculo das propriedades térmicas de paredes, desenvolvido por Moreira, Labaki e Kowaltowski (2004). A interface gráfica (Figura 105) do aplicativo é bastante intuitiva, sendo requisitados ao usuário dados de entrada relativos as dimensões e algumas propriedades dos materiais que formam o componente construtivo e, então, são retornados valores de resistência térmica total, transmitância, capacidade térmica da parede. O programa pode ser baixado em: &lt; <a href="http://www.fec.unicamp.br/~damore/conforto27.swf">http://www.fec.unicamp.br/~damore/conforto27.swf</a> &gt;</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Figura 105: Interface gráfica do aplicativo Propriedades Térmicas dos Materiais, v. 2

**Propriedades Térmicas dos Materiais**  
Cálculo de Paredes segunda versão - fevereiro de 2003



Espresso  
reboco externo  
 m

Junta vertical  
 m

Junta horizontal  
 m

Espresso  
reboco interno  
 m  
(valores em metros)

### Materiais

|                       | ( $\rho$ )<br>Densid.<br>Kg/m <sup>3</sup> | ( $\lambda$ )<br>Condução<br>W/m°C | ( $c$ )<br>Cal. esp.<br>kJ/kg°C |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Alvenaria</b>      |                                            |                                    |                                 |
| Cerâmica              | 1600                                       | 0.9                                | 0.92                            |
| <b>Argamassa</b>      |                                            |                                    |                                 |
| Comum                 | 2000                                       | 1.15                               | 1                               |
| <b>Reboco interno</b> |                                            |                                    |                                 |
| Comum                 | 2000                                       | 1.15                               | 1                               |
| <b>Reboco externo</b> |                                            |                                    |                                 |
| Comum                 | 2000                                       | 1.15                               | 1                               |

### Dimensões do Bloco

**C** Comprimento  m

**L** Largura  m

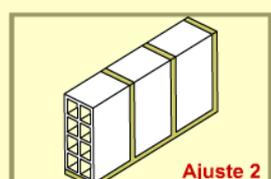
**H** Altura  m

**C'** Comp. do furo  m

**L'** Larg. do furo  m

Total furos no comp.  unid.

Total furos na larg.  unid.



**Ajuste 2**

### Opções de Ajuste

1  2  3  4

### Resultados Principais

|                                                                                                                 |                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Resistência Térmica Total</b><br><b>0.3577 (m<sup>2</sup>.K)/W</b><br><small>ver detalhes do cálculo</small> | <b>Cap. Térmica da Parede</b><br><b>151.86kJ/(m<sup>2</sup>.K)</b><br><small>ver detalhes do cálculo</small> |
| <b>Transmitância Térmica</b><br><b>2.8 W/(m<sup>2</sup>.K)</b><br><small>ver detalhes do cálculo</small>        | <b>Atraso Térmico</b><br><b>3.02 horas</b><br><small>ver detalhes do cálculo</small>                         |

Agora que você está munido de múltiplas bases da dados, vamos dar sequência ao nosso estudo e configurar alguns materiais para a superfície analisada nos roteiros anteriores e simulá-la no *software EnergyPlus™*.

## ROTEIRO IV-c

# CONFIGURANDO OS MATERIAIS DE UMA SUPERFÍCIE NO ENERGYPLUS™

---

Abra o Modelo1S\_b. Na *Class List*, acesse o *Material*. Apague os objetos predefinidos pelo *OpenStudio*®, mantendo apenas um para edição.

Esta classe de objetos é utilizada para descrever materiais (exclusivamente opacos) cujas propriedades termofísicas são conhecidas pelo usuário (espessura, condutividade, densidade e calor específico). Neste contexto, cabe pontuar o seguinte:



**OBSERVAÇÃO!!!** O método de cálculo para determinação do desempenho térmico utilizado pelo *EnergyPlus*™ dispõe os materiais constituintes da parede em camadas em **série**. Diante disso, para inserção dos *inputs* relativos à espessura e massa específica de um componente construtivo cujos materiais (e, por consequência, as resistências) encontram-se dispostos em paralelo ao sentido do fluxo de calor, deve-se calcular um **modelo equivalente** em série que represente as propriedades do componente original. Saiba mais sobre este assunto ao final do manual, no Apêndice do Módulo IV!

A observação acima não é o caso deste roteiro. Configuraremos quatro materiais, todos em série, cada um representando um tipo de concreto a ser atribuído à superfície, formando, assim, um componente de parede maciça. São eles:

Figura 106: Configuração dos objetos da classe *Material* do modelo de uma superfície no *IDF Editor*

| Field               | Units             | Obj1       | Obj2       | Obj3       | Obj4       |
|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| Name                |                   | concreto_1 | concreto_2 | concreto_3 | concreto_4 |
| Roughness           |                   | Rough      | Rough      | Rough      | Rough      |
| Thickness           | m                 | 0.5        | 0.15       | 0.15       | 0.15       |
| Conductivity        | W/m-K             | 1.75       | 1.75       | 1.75       | 0.5        |
| Density             | kg/m <sup>3</sup> | 2400       | 2400       | 2400       | 2400       |
| Specific Heat       | J/kg-K            | 1000       | 1000       | 1000       | 1000       |
| Thermal Absorptance |                   | 0.9        | 0.9        | 0.9        | 0.9        |
| Solar Absorptance   |                   | 0.5        | 0.5        | 0.15       | 0.15       |
| Visible Absorptance |                   | 0.5        | 0.5        | 0.15       | 0.15       |

A Tabela 5 resume a função de cada campo do *Material* e apresenta as fontes de dados para preenchimento dos valores destas variáveis de entrada.

Tabela 5: Função de cada campo do *Material* e atribuição de valores para preenchimento

| <b>Campo</b>               | <b>Unid.</b>      | <b>Função</b>                                                                                              | <b>Atribuição para preenchimento</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Roughness</i>           | -                 | Define a rugosidade do material, variando de muito liso a muito áspero                                     | Todos foram configurados como sendo <i>Rough</i> (rugoso / áspero)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <i>Thickness</i>           | m                 | Refere-se à espessura do material                                                                          | Adotou-se o concreto_1 como tendo meio metro de espessura (nos moldes de uma parede espessa), enquanto que os demais restringiram-se a um valor convencional de 15cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>Conductivity</i>        | W/m.K             | É onde insere-se o valor de condutividade térmica do material                                              | Com base na Tabela B.3 da NBR 15.220:2005, $\lambda = 1,75$ para o “concreto normal”. Para fins de exemplo, o quarto concreto recebeu um valor teórico de 0,5 W/m.K (próprio dos concretos mais leves, como aqueles que utilizam argila expandida em sua composição)                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <i>Density</i>             | kg/m <sup>3</sup> | Densidade de massa aparente do material                                                                    | Com base na Tabela B.3 da NBR 15.220:2005, $\rho$ varia de 2.200 a 2.400 kg/m <sup>3</sup> . Utilizou-se o valor limite do intervalo recomendado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Specific Heat</i>       | J/kg.K            | Campo relativo ao calor específico do material                                                             | Com base na Tabela B.3 da NBR 15.220:2005, $c = 1$ KJ/kg.K. Note que a NBR utiliza o prefixo do sistema decimal “Kilo” ( $10^3$ ), enquanto que o EnergyPlus™ usa J/Kg.K. Por esse motivo, o <i>input</i> de calor específico corresponde a 1.000 J/Kg.K                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>Thermal Absorptance</i> | -                 | Refere-se à propriedade de emissividade do material                                                        | Quanto às propriedades de emissividade ( <i>Thermal Absorptance</i> ), absorptância solar e visível, a NBR 15.220:2005 não é tão rica em detalhes. Podem ser encontrados valores apenas de emissividade e absorptância solar para alguns materiais específicos e poucas cores de pintura na Tabela B.2 da NBR.                                                                                                                                                                                                           |
| <i>Solar Absorptance</i>   | -                 | Neste campo, define-se o valor de absorptância solar do material                                           | Como a absorptância solar depende de rugosidade, tipo de textura, cor etc., os dados de ensaio são um tanto quanto difíceis de encontrar na literatura. Em Dornelles (2008) é possível encontrar dados em maior quantidade para a absorptância solar e visível. A autora realizou ensaios com o espectro fotômetro de várias tintas, “varrendo” todo o espectro solar de diversas amostras para determinar a absorptância nas faixas visível, ultravioleta e infravermelho.                                              |
| <i>Visible Absorptance</i> | -                 | Valor da absorptância visível do material (lembre-se que o espectro visível está dentro do espectro solar) | Diante disso, neste exemplo adotaremos algumas aproximações. A partir dos valores constantes na Tabela B.2 da NBR 15.220:2005, fixou-se a emissividade ( <i>Thermal Absorptance</i> ) em 0,90 para todos os concretos. Para a absorptância solar e visível, foram considerados valores teóricos de absorptância solar e visível com base nos dados de Dornelles (2008): 0,50 representa uma cor “média”, algo como o amarelo antigo para os dois primeiros concretos e 0,15 uma cor clara (como o branco) para os demais |

Feito isto, vamos configurar um objeto parametrizado que contenha as possibilidades de materiais que havíamos criado.

Para tanto, localize o *Parametric:SetValueForRun* na *Class list* e crie um novo objeto. A parametrização possibilita simular vários objetos em conjunto (variando valores específicos de acordo com as predefinições do usuário), evitando desperdício de tempo e o retrabalho de criar outros arquivos *.idf*, editá-los e simulá-los um por um.

Então, nomeie o *Obj1*. É importante observar que o nome do objeto deve ser precedido pelo símbolo “\$” (por exemplo, \$parede) e os demais campos devem conter os nomes exatos dos materiais criados no *Material* (concreto\_1, concreto\_2, concreto\_3, concreto\_4), conforme demonstrado na Figura 107.

Figura 107: Configuração do *Parametric:SetValueForRun* para os quatro materiais de exemplo

| Field           | Units | Obj1       |
|-----------------|-------|------------|
| Name            |       | \$parede   |
| Value for Run 1 |       | concreto_1 |
| Value for Run 2 |       | concreto_2 |
| Value for Run 3 |       | concreto_3 |
| Value for Run 4 |       | concreto_4 |

Em seguida, acesse o *Construction*. Nesta classe é onde se “constrói” os componentes construtivos (paredes, pisos, lajes, telhados, janelas, portas etc.). Para tanto, o usuário deverá informar (um a um) os materiais constituintes nos campos do *Layer* (cada *layer* representa uma camada da construção), seguindo a ordem de “fora” (ou seja, da camada mais externa – *Outside Layer*) para “dentro” em direção ao interior da zona térmica. O *EnergyPlus™* comporta até dez camadas para cada objeto de componente construtivo.

Identifique os objetos predefinidos que não estão sendo utilizados e delete-os. Ao final, restarão apenas dois (*Obj1* e *Obj2* da Figura 108). Em seguida, crie um terceiro objeto de nome genérico (*Parede\_x* por exemplo) que terá seu material parametrizado pelo termo anterior. Adicione como o único material (no campo *Outside Layer*) o nome do objeto definido no Grupo *Parametric:SetValueForRun*.

Figura 108: Configuração do *Construction* da parede de exemplo

| Field         | Units | Obj1                        | Obj2            | Obj3      |
|---------------|-------|-----------------------------|-----------------|-----------|
| Name          |       | ASHRAE 189.1-2009 ExtWindow | Interior Window | Parede_x  |
| Outside Layer |       | Theoretical Glass [207]     | Clear 3mm       | =\$parede |

Acesse os detalhes da superfície em *BuildingSurface:Detailed* e modifique o campo *Construction Name* para o nome definido no objeto do *Construction*, conforme a Figura 109.

Figura 109: Configuração do único objeto do *BuildingSurface:Detailed*

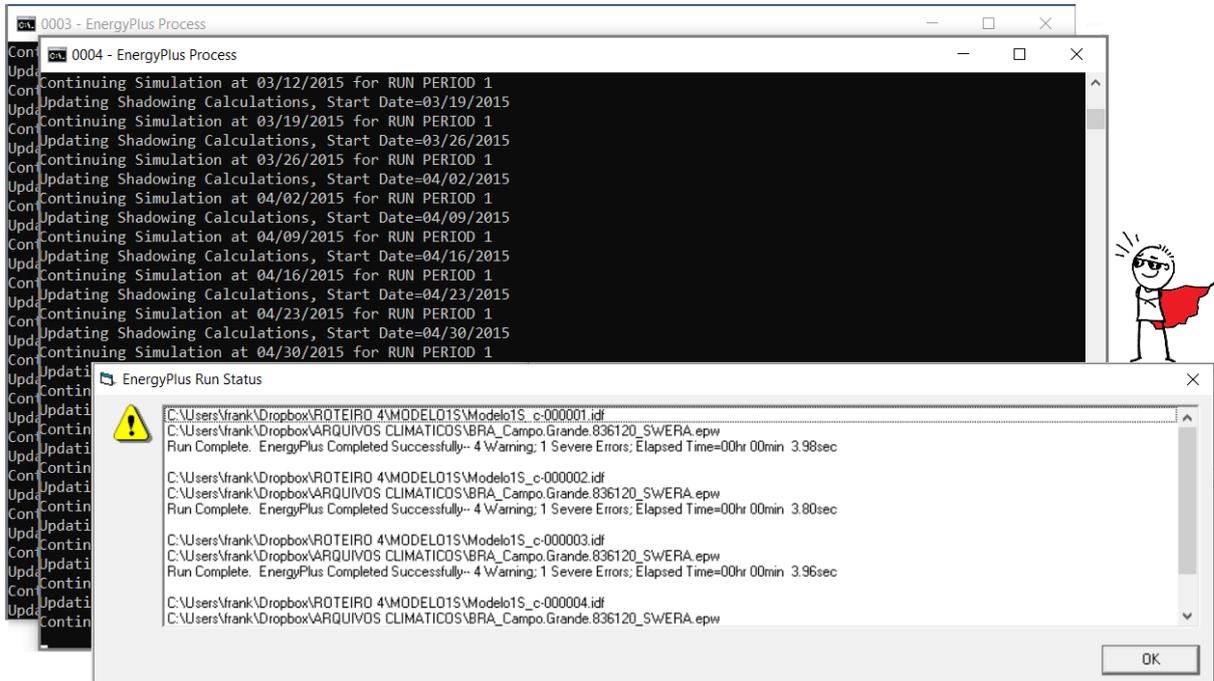
| Field                             | Units | Obj1           |
|-----------------------------------|-------|----------------|
| Name                              |       | Surface 1      |
| Surface Type                      |       | Wall           |
| Construction Name                 |       | Parede_x       |
| Zone Name                         |       | Thermal Zone 1 |
| Outside Boundary Condition        |       | Outdoors       |
| Outside Boundary Condition Object |       |                |
| Sun Exposure                      |       | SunExposed     |
| Wind Exposure                     |       | WindExposed    |
| View Factor to Ground             |       |                |
| Number of Vertices                |       |                |
| Vertex 1 X-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 1 Y-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 1 Z-coordinate             | m     | 3              |
| Vertex 2 X-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 2 Y-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 2 Z-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 3 X-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 3 Y-coordinate             | m     | 6              |
| Vertex 3 Z-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 4 X-coordinate             | m     | 0              |
| Vertex 4 Y-coordinate             | m     | 6              |
| Vertex 4 Z-coordinate             | m     | 3              |

Pronto, a parametrização está completa. Agora, o programa interpretará que deve rodar o *Construction* da parede para cada uma das quatro possibilidades de materiais modelados.

Neste caso, a partir de um único arquivo *.idf* o programa simulará as quatro paredes de concreto de uma só vez, criando quatro novos *.idf's* (um para cada componente).

Salve como *ModeloIS\_c* e simule o arquivo no *EP-Launch*. Dependendo da quantidade de núcleos de seu computador, o processo será mais rápido (em janelas simultâneas), conforme mostra a Figura 110.

Figura 110: Rodando a simulação do *Modelo1S\_c* no *EnergyPlus™*



Uma vez concluído o processo, feche o *EP-Launch* (note que não há *log* de erros para ser visualizado). Em seguida, abra a pasta em que estão sendo salvos os arquivos resultantes das simulações. Observe que foram criados quatro arquivos com extensão *.idf* e quatro *.csv*, os quais referem-se à parametrização definida dos materiais (uma para cada concreto).

Figura 111: Arquivos resultantes da parametrização do *Modelo1S\_c.idf*

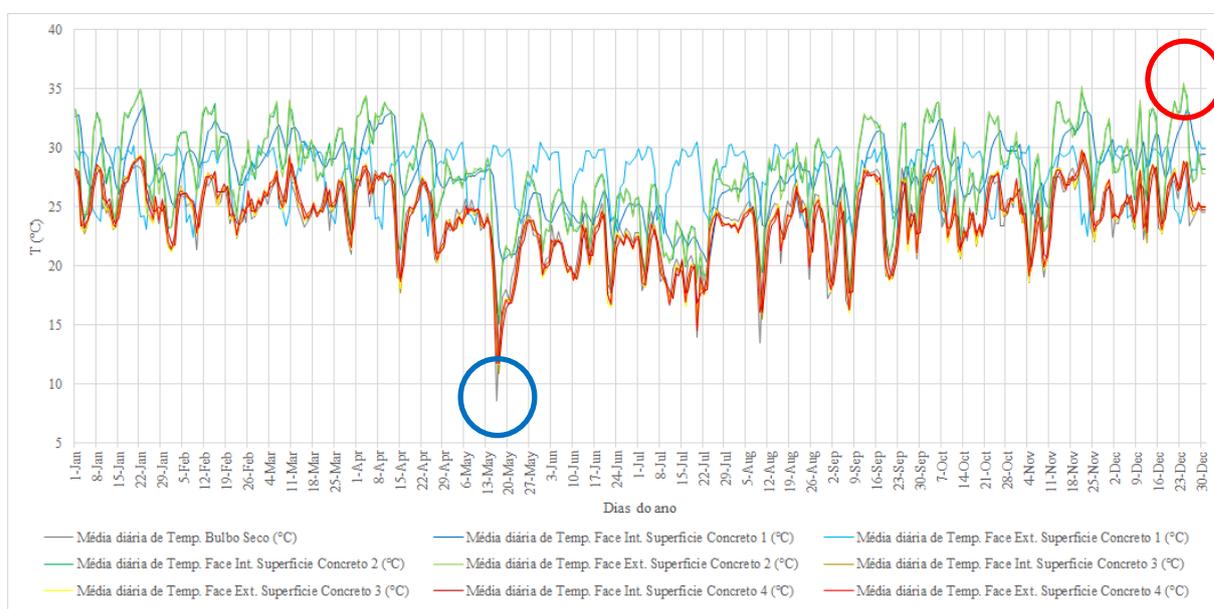
| Nome              | Data de modificação | Tipo                                                         | Tamanho |
|-------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|---------|
| Modelo1S_c-000003 | 6/23/2020 10:57 AM  | EnergyPlus Input Data File                                   | 21 KB   |
| Modelo1S_c-000004 | 6/23/2020 10:57 AM  | EnergyPlus Input Data File                                   | 21 KB   |
| Modelo1S_c-000001 | 6/23/2020 10:57 AM  | EnergyPlus Input Data File                                   | 21 KB   |
| Modelo1S_c-000002 | 6/23/2020 10:57 AM  | EnergyPlus Input Data File                                   | 21 KB   |
| Modelo1S_c        | 6/23/2020 10:56 AM  | EnergyPlus Input Data File                                   | 22 KB   |
| Modelo1S_c-000001 | 6/23/2020 10:57 AM  | Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel | 871 KB  |
| Modelo1S_c-000002 | 6/23/2020 10:57 AM  | Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel | 870 KB  |
| Modelo1S_c-000003 | 6/23/2020 10:57 AM  | Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel | 871 KB  |
| Modelo1S_c-000004 | 6/23/2020 10:57 AM  | Arquivo de Valores Separados por Vírgulas do Microsoft Excel | 872 KB  |

Vamos analisar os dados de saída dos arquivos *.csv* gerados. Para facilitar o exercício, é mais adequado criar uma planilha separada para auxiliar no tratamento dos dados.

## MODELO1S\_c.idf

Iniciemos com o comportamento das quatro paredes de concreto quanto às temperaturas atuantes na superfície ao longo do ano. O gráfico abaixo resume – em termos de valores médios diários – a temperatura de bulbo seco (parâmetro comum a todos, pois depende exclusivamente dos dados climáticos de Campo Grande) e apresenta um comparativo das temperaturas nas faces externas e internas para cada tipo de parede de concreto modelada no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

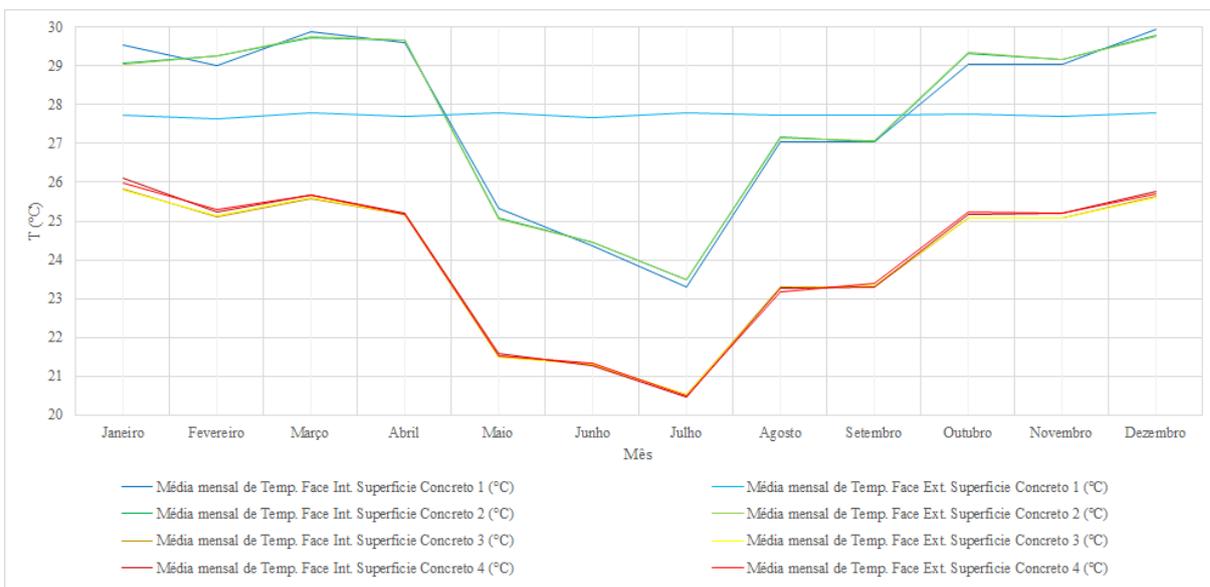
Figura 112: Comportamento das quatro paredes de concreto submetidas ao clima de Campo Grande



Ao calcular as médias diárias e compará-las, você poderá constatar que a parede mais espessa (concreto\_1) apresenta os maiores intervalos (amplitudes) em relação às temperaturas da face externa e interna da superfície. Em contrapartida, as paredes de 15cm de espessura não possuem variação significativa entre os valores de temperatura em cada face (ou seja, quando a temperatura da face externa eleva-se, a face interna “percebe” rapidamente essa variação).

Esse comportamento pode ser visualizado mais facilmente a partir das médias mensais de temperatura para as faces externas e internas de cada parede, conforme ilustra o gráfico da Figura 113 (atente-se ao comportamento da parede de concreto\_1 em relação às demais).

Figura 113: Temperaturas superficiais médias mensais para as quatro paredes de concreto simuladas



Ademais, havíamos configurado valores médios de absorção solar e visível para as duas primeiras paredes, enquanto que as duas últimas receberam valores mais baixos para essas propriedades térmicas dos materiais.

A influência destes parâmetros no resultado é outro ponto interessante a ser observado: as paredes de concreto 1 e 2 mostraram-se com temperaturas superficiais (externas e internas) mais elevadas em relação às paredes de coloração mais clara (3 e 4).

O recorte abaixo (Tabela 6) sintetiza as médias mensais da temperatura de bulbo seco e das temperaturas das superfícies nas faces internas e externas para cada tipo de parede.

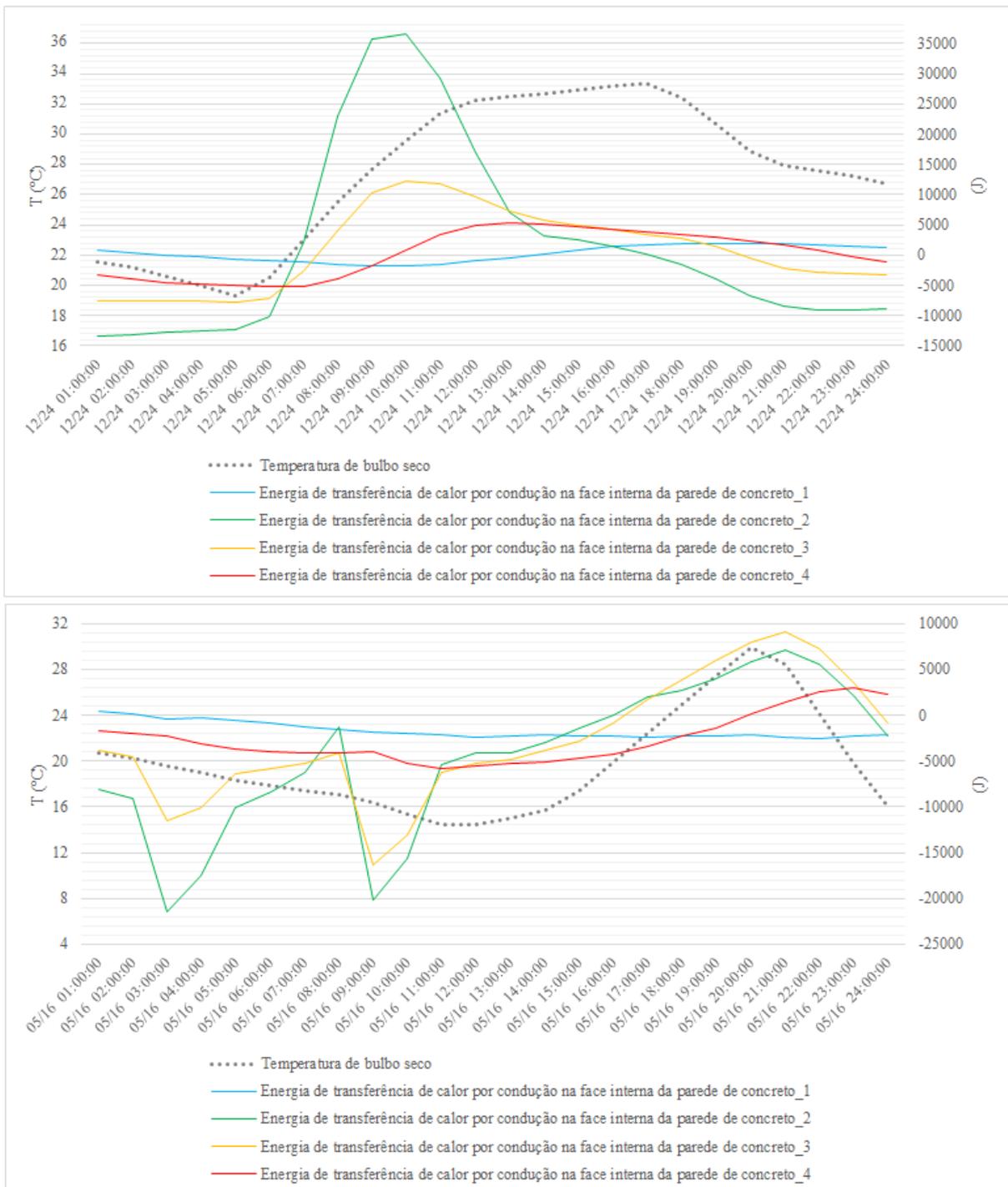
Tabela 6: Dados mensais de temperatura para cada tipo de superfície simulada

| Dados gerais |                                       | Concreto 1                                      |                                                 | Concreto 2                                      |                                                 | Concreto 3                                      |                                                 | Concreto 4                                      |                                                 |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Mês          | Média mensal de Temp. Bulbo Seco (°C) | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície (°C) | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície (°C) |
| Janeiro      | 25.8299                               | 29.5306                                         | 27.7415                                         | 29.0811                                         | 29.0299                                         | 25.8201                                         | 25.7816                                         | 26.1042                                         | 25.9792                                         |
| Fevereiro    | 24.8644                               | 28.9956                                         | 27.6475                                         | 29.2434                                         | 29.2704                                         | 25.1237                                         | 25.1408                                         | 25.2258                                         | 25.2838                                         |
| Março        | 25.3206                               | 29.8711                                         | 27.7770                                         | 29.7340                                         | 29.7468                                         | 25.5871                                         | 25.5959                                         | 25.6706                                         | 25.6773                                         |
| Abril        | 25.0116                               | 29.6050                                         | 27.6897                                         | 29.6730                                         | 29.6604                                         | 25.1739                                         | 25.1586                                         | 25.2125                                         | 25.1707                                         |
| Mai          | 21.7703                               | 25.3417                                         | 27.7776                                         | 25.0904                                         | 25.0491                                         | 21.5154                                         | 21.4880                                         | 21.5926                                         | 21.5142                                         |
| Junho        | 21.8958                               | 24.3505                                         | 27.6791                                         | 24.4426                                         | 24.4674                                         | 21.2901                                         | 21.3107                                         | 21.2888                                         | 21.3462                                         |
| Julho        | 20.9970                               | 23.3043                                         | 27.7910                                         | 23.4899                                         | 23.4967                                         | 20.5155                                         | 20.5218                                         | 20.4617                                         | 20.4842                                         |
| Agosto       | 23.5213                               | 27.0353                                         | 27.7340                                         | 27.1599                                         | 27.1341                                         | 23.2907                                         | 23.2604                                         | 23.2690                                         | 23.1903                                         |
| Setembro     | 23.7880                               | 27.0468                                         | 27.7142                                         | 27.0324                                         | 27.0755                                         | 23.2898                                         | 23.3333                                         | 23.2935                                         | 23.4024                                         |
| Outubro      | 25.1606                               | 29.0459                                         | 27.7667                                         | 29.3286                                         | 29.3421                                         | 25.0758                                         | 25.0887                                         | 25.1681                                         | 25.2208                                         |
| Novembro     | 25.0639                               | 29.0468                                         | 27.7056                                         | 29.1586                                         | 29.1581                                         | 25.0877                                         | 25.0827                                         | 25.1962                                         | 25.1908                                         |
| Dezembro     | 25.3186                               | 29.9284                                         | 27.7821                                         | 29.7794                                         | 29.7411                                         | 25.6258                                         | 25.6073                                         | 25.7605                                         | 25.7030                                         |

Variamos ainda outro parâmetro na configuração dos materiais, lembra-se? À parede de concreto\_4 foi atribuída uma baixa condutividade térmica em relação às outras superfícies.

Tomemos como exemplo os picos de valores médios de temperatura do ar de Campo Grande (assinalados na Figura 112). É possível observar que a energia de transferência de calor por condução é menor e menos variável na parede de concreto\_4 em relação às paredes 2 e 3 (modeladas similares, mas com uma condutividade térmica muito maior).

Figura 114: Correlação entre a temperatura do ar e os valores de energia de transferência de calor por superfície para o dia mais quente e mais de um ano hipotético de Campo Grande/MS



Como vimos no capítulo anterior, quanto menor a condutividade térmica do material, mais lenta será a transferência de calor (energia) para o interior da superfície. Mas por que a parede que recebera o concreto\_1 apresenta um comportamento ainda mais “estável” do que a parede de concreto\_4? Neste caso, a maior espessura do elemento construtivo confere à parede uma maior resistência térmica, de modo que a passagem de calor na face interna da superfície torna-se reduzida.

Com isso, fechamos nosso estudo sobre as propriedades térmicas dos componentes. Nos próximos roteiros retomaremos com mais exemplos.

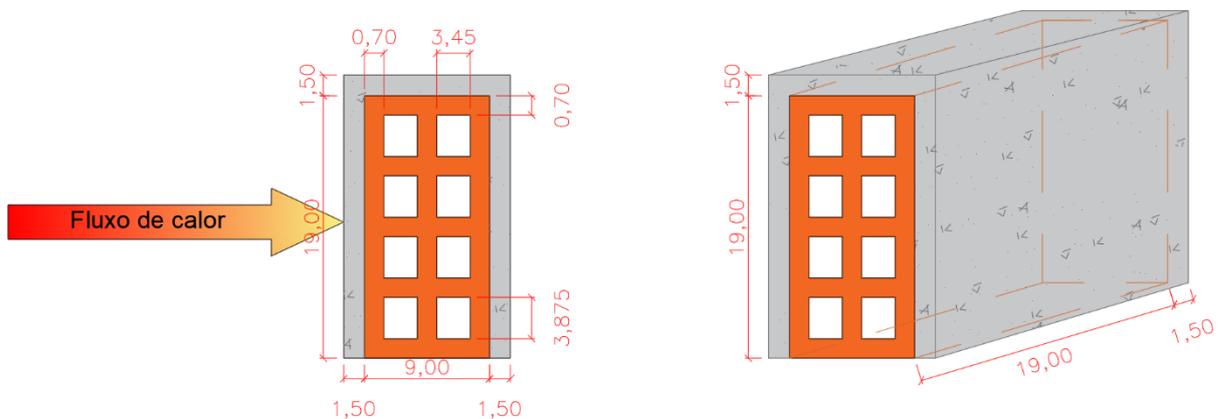
## AGORA É COM VOCÊ



É hora de praticar!!! Modele uma superfície, configure os materiais que a constituem e simule-a no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Considere para realização desta atividade os seguintes dados:

A superfície representa uma parede de dimensões de 2,90m de altura por 3,70m de comprimento, submetida às condições climáticas da cidade de Campo Grande/MS. A alvenaria é composta de tijolos de oito furos dimensões 9x19x19 cm, argamassa de assentamento e de revestimento, conforme demonstrado abaixo.

Figura 115: Componente construtivo de tijolos de oito furos



Com base nisso:

- I) Modele a superfície no *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup> e exporte-a em um arquivo *.idf* para uso no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Utilize como arquivo climático de entrada o *.epw* de Campo Grande/MS, do tipo SWERA.
- II) Delete aquilo que não está sendo utilizado.
- III) Em seguida, construa pelo menos dois cenários de material equivalente. Em cada cenário, calcule a espessura e a massa específica do componente equivalente. Para

realizar esta etapa, consulte o passo a passo do Apêndice deste Módulo ao final do manual.

- IV) Configure os modelos equivalentes no *EnergyPlus*<sup>TM</sup> (propriedades dos materiais, disposição das camadas e assim por diante). Considere as seguintes propriedades dos materiais construtivos:

Tabela 7: Propriedades térmicas dos materiais construtivos da parede

| Material  | $\lambda$ (W/m.K) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | c (kJ/kg.K) |
|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------|
| Argamassa | 1,150             | 2100                        | 1,00        |
| Cerâmica  | 0,700             | 1200                        | 0,92        |

- V) Parametrize para “rodar” todos os componentes em uma única simulação.  
VI) Configure as seguintes saídas no *Output:Variable*:

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Surface Inside Face Temperature</i><br><i>Surface Outside Face Temperature</i><br><i>Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Energy</i><br><i>Site Outdoor Air Drybulb Temperature</i><br><i>Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- VII) Para as demais configurações, mantenha o que foi apresentado para o Modelo1S\_c.  
VIII) Simule o modelo.  
IX) Compare os resultados de temperatura da face interna e externa da superfície e da energia de transferência de calor por condução na superfície entre os casos. Procure construir gráficos e tabelas conforme demonstrado nos exemplos ao longo deste Módulo.

Então, responda aos questionamentos:

- X) Qual o nível de similaridade exibido entre os componentes equivalentes com relação às temperaturas superficiais?  
XI) Como você explica as disparidades entre os valores de energia de transferência de calor na superfície interna dos componentes equivalentes?

Por fim, para praticar ainda mais:

- XII) Escolha apenas um modelo de componente equivalente. A partir deste, crie novos materiais, variando apenas um parâmetro em cada um (espessura, condutividade térmica, calor específico, emissividade ou absorptância solar, por exemplo).
- XIII) Simule, abra os arquivos .csv gerados, analise os dados de saída, expresse-os por meio de gráficos e tabelas que julgar apropriado e interprete o comportamento dos componentes com base em suas propriedades termofísicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da Engenharia de Edificações - Materiais e Métodos**. Revisão técnica de José Alberto Azambuja, Miguel Aloyzio Sattler e Ruy Alberto Cremonini. 5 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

ASHRAE. Heat, air, and moisture control in building assemblies – Material properties. In: **ASHRAE Fundamentals**, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2017.

BRACKNEY, L. *et al.* **Building Energy Modeling with OpenStudio - A Practical Guide for Students and Professionals**. Cham: Springer, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 372, de 17 de Setembro de 2010**. Manual para Aplicação do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 50, de 01 de fevereiro de 2013**. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) – Anexo Geral V: Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, 2013.

CHENG, V. **Predicting thermal performance of building design in Hong Kong: scale-model measurement and field study**. 2004. Dissertação (Mestrado em Filosofia na Arquitetura) – Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, 2004.

CLEVELAND, C. J.; MORRIS, C. G. **Building envelopery**. Expanded Edition. Burlington: Elsevier, 2009.

DOE. U. S. Department of Energy. **Getting Started – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020a.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020b.

DOE. U. S. Department of Energy. **Engineering reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020c.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >.

FERNANDES, A. M. C. P. **Insolação de edifícios e o projeto de suas proteções solares**. Departamento de Artes e Arquitetura, Universidade Católica de Goiás, 2002.

FIORIN, D. V. *et al.* Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1-20, 2011.

FOX, M. **Optical Properties of Solids**. New York: Oxford University Press, 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

KUBO, K. G. **A influência das variáveis do Design Day, consideradas na simulação com o EnergyPlus e desconsideradas pela NBR 15575/2013, nos resultados de desempenho térmico de edificações**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2016.

MOREIRA, D. C.; LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. Aplicativo para cálculo das propriedades térmicas de alvenarias. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais [...]**, São Paulo, 2004.

MULHALL, C.; AYNSLEY, R. Solar absorptance and uninsulated houses in the humid tropics. In: 16th Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Anais [...]**, Brisbane, 1999.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: < <http://ProjetEEE.mma.gov.br/> >. Acesso em: 24/07/2020.

OPENSTUDIO®. Programa de simulação computacional de energia, versão 3.1.0. Disponível em: < <https://www.openstudio.net/downloads> >.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. Transferência de calor na envolvente da edificação. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2008.

PIRRÓ, L. Análise da envoltória como estratégia para a sustentabilidade dos edifícios. **Revista Belas Artes**, v. 14, p. 1 – 9, 2014.

SEARS, F. W.; SALINGER, G. L. **Termodinâmica, teoria cinética e termodinâmica estatística**. Traduzido por Sergio Murilo Abrahilo. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

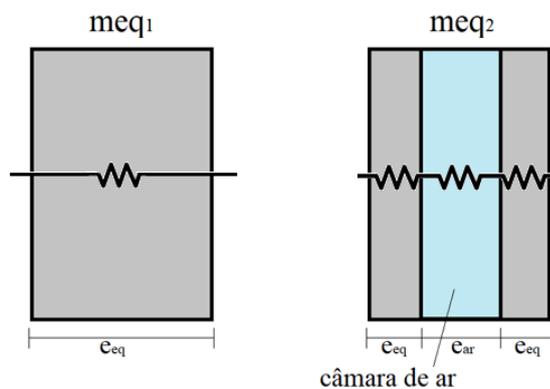
TAHA, H. *et al.* Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. **Building and Environment**, v. 23, p. 271-283, 1988.

WEBER, F. S. *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2017.

## GABARITO

Com base no componente construtivo real da parede de tijolos cerâmicos de oito furos, foram criados dois cenários com as resistências em série (um sem e outro com a presença de câmara de ar), conforme a disposição abaixo.

Figura 116: Exemplos de componentes equivalentes criados para a configuração original de alvenaria



Considerando a resistência térmica da câmara de ar igual a  $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ , os valores de espessura equivalente e de massa específica equivalente correspondem a:

Tabela 8: Espessura e massa específica dos componentes equivalentes

| Componente       | Espessura equivalente (m) | Massa específica equivalente ( $\text{kg/m}^3$ ) |
|------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
| meq <sub>1</sub> | 0,2359                    | 438,52                                           |
| meq <sub>2</sub> | 0,03795                   | 1363,1                                           |

Utilizando a seguinte configuração do *Material* (Figura 117), verificou-se que:

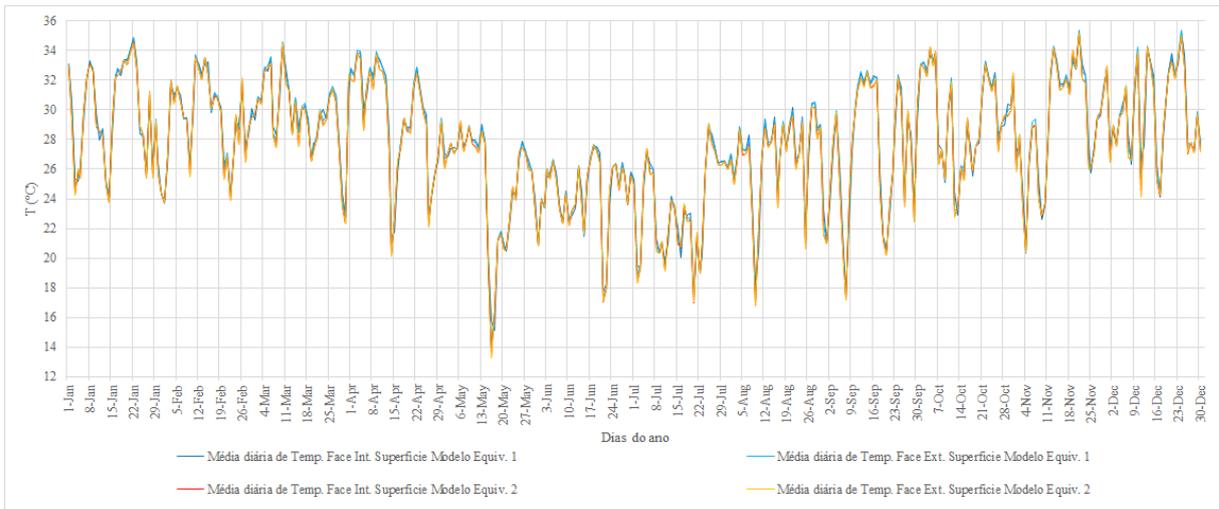
Figura 117: Configuração dos materiais equivalentes no *Material*

| Field               | Units  | Obj1   | Obj2    |
|---------------------|--------|--------|---------|
| Name                |        | meq1   | meq2    |
| Roughness           |        | Rough  | Rough   |
| Thickness           | m      | 0.2359 | 0.03795 |
| Conductivity        | W/m-K  | 1      | 1       |
| Density             | kg/m3  | 438.52 | 1363.1  |
| Specific Heat       | J/kg-K | 1000   | 1000    |
| Thermal Absorptance |        | 0.9    | 0.9     |
| Solar Absorptance   |        | 0.5    | 0.5     |
| Visible Absorptance |        | 0.5    | 0.5     |

## TEMPERATURAS SUPERFICIAIS

Com relação às temperaturas superficiais nas faces internas e externas, as médias diárias exibiram grande correspondência entre os modelos equivalentes.

Figura 118: Médias diárias de temperaturas nas faces interna e externa dos modelos equivalentes



Da mesma forma, para as médias mensais:

Figura 119: Médias mensais de temperaturas nas faces interna e externa dos modelos equivalentes



O nível de correlação é superior a 99% para os valores médios mensais, conforme pode ser percebido pelos valores da tabela 9.

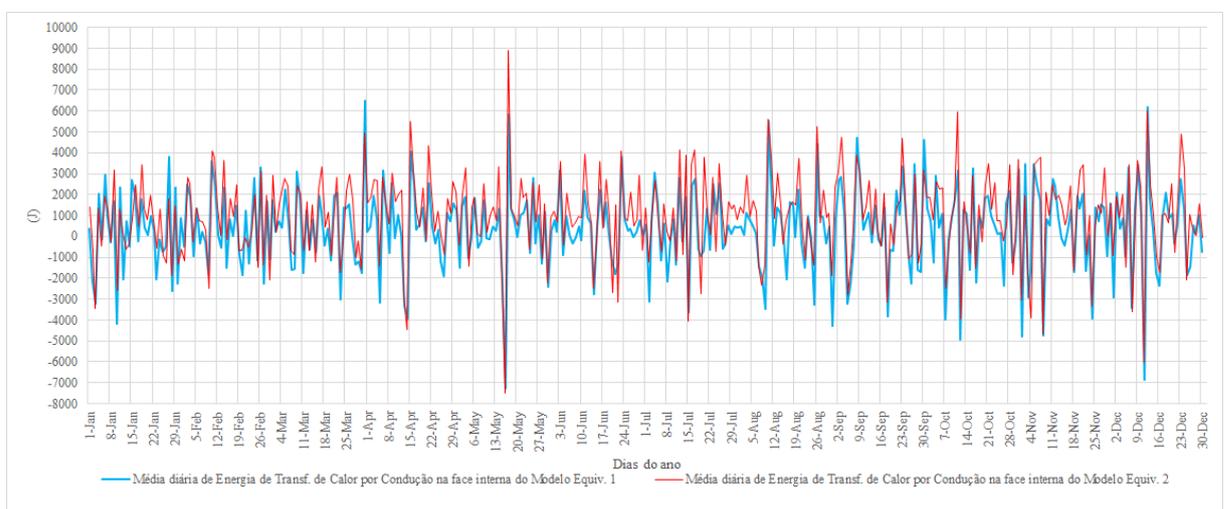
Tabela 9: Diferença percentual entre as médias mensais de temperatura superficial em ambas as faces das paredes representadas pelos modelos equivalentes

| Mês       | Média mensal de Temp. Bulbo Seco (°C) | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície Modelo Equiv. 1 | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície Modelo Equiv. 1 | Média mensal de Temp. Face Int. Superfície Modelo Equiv. 2 | Média mensal de Temp. Face Ext. Superfície Modelo Equiv. 2 | Diferença % valores de Temp. Int. Superfície entre os modelos 1 e 2 | Diferença % valores de Temp. Ext. Superfície entre os modelos 1 e 2 |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Janeiro   | 25.8299                               | 29.5647                                                    | 29.5363                                                    | 29.4457                                                    | 29.4447                                                    | 0.4041%                                                             | 0.3111%                                                             |
| Fevereiro | 24.8644                               | 29.5665                                                    | 29.5746                                                    | 29.4200                                                    | 29.4203                                                    | 0.4978%                                                             | 0.5245%                                                             |
| Março     | 25.3206                               | 29.8192                                                    | 29.8410                                                    | 29.5972                                                    | 29.5998                                                    | 0.7500%                                                             | 0.8148%                                                             |
| Abril     | 25.0116                               | 29.5646                                                    | 29.5505                                                    | 29.2917                                                    | 29.2917                                                    | 0.9317%                                                             | 0.8837%                                                             |
| Maio      | 21.7703                               | 24.9919                                                    | 24.9678                                                    | 24.8282                                                    | 24.8276                                                    | 0.6595%                                                             | 0.5644%                                                             |
| Junho     | 21.8958                               | 24.4879                                                    | 24.5048                                                    | 24.4010                                                    | 24.4026                                                    | 0.3561%                                                             | 0.4191%                                                             |
| Julho     | 20.9970                               | 23.3800                                                    | 23.3886                                                    | 23.2575                                                    | 23.2590                                                    | 0.5269%                                                             | 0.5573%                                                             |
| Agosto    | 23.5213                               | 26.8988                                                    | 26.8723                                                    | 26.6008                                                    | 26.5998                                                    | 1.1202%                                                             | 1.0244%                                                             |
| Setembro  | 23.7880                               | 27.1761                                                    | 27.2232                                                    | 27.0843                                                    | 27.0889                                                    | 0.3387%                                                             | 0.4957%                                                             |
| Outubro   | 25.1606                               | 29.5740                                                    | 29.5852                                                    | 29.4413                                                    | 29.4431                                                    | 0.4505%                                                             | 0.4826%                                                             |
| Novembro  | 25.0639                               | 29.3562                                                    | 29.3514                                                    | 29.1784                                                    | 29.1783                                                    | 0.6094%                                                             | 0.5933%                                                             |
| Dezembro  | 25.3440                               | 29.9553                                                    | 29.9479                                                    | 29.7343                                                    | 29.7355                                                    | 0.7431%                                                             | 0.7142%                                                             |

## ENERGIA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO

Como o primeiro modelo é mais espesso, a parede oferece maior resistência à passagem de calor na face interna da superfície. O modelo equivalente 2 (apesar de possuir resistências das camadas equivalentes e da câmara de ar) apresenta as maiores variações entre os valores de energia de transferência de calor na superfície interna do componente por ter sua espessura reduzida, conforme pode ser percebido pelo gráfico abaixo.

Figura 120: Médias diárias de energia de transferência de calor por condução entre os modelos





# MÓDULO V

---

## A ZONA TÉRMICA

NESTE MÓDULO VOCÊ

# APRENDERÁ

---

**A** Zona Térmica ganha (e perde) calor de várias formas. Nos módulos anteriores, vimos a influência do clima externo e os mecanismos de transferência de calor por meio das superfícies para o interior do ambiente. Há, também, os ganhos de calor advindos de fontes internas. Tais fontes remetem a presença de pessoas que ocupam a zona térmica e ali desempenham suas atividades, além de que operam os equipamentos elétricos disponíveis e o sistema de iluminação artificial, entre outras.

Na busca pelo conforto térmico, o ar-condicionado pode ser acionado em determinados períodos do dia, ou mesmo o aquecimento no inverno. Outrossim, as portas e janelas podem ser abertas buscando-se a ventilação natural do ambiente ou fechadas caso as condições internas mostrem-se mais satisfatórias. Naturalmente, os usuários possuem uma “rotina” de ocupação do ambiente e do uso destes aparelhos, da iluminação e das aberturas, a qual varia durante os dias da semana, fins de semana, feriados, férias etc.

Este breve resumo ilustra o que aprenderemos neste Módulo. Estudaremos o papel do comportamento do usuário nos ganhos de calor no interior da zona térmica. Também veremos o que exatamente são estas “rotinas” de ocupação do ambiente e operação dos sistemas e como podemos modelar estas informações para simulação no *EnergyPlus*™.

## CAPÍTULO OITAVO

# O BALANÇO TÉRMICO

---

Lembra-se da zona térmica representada por uma sala de um edifício de escritórios que havíamos apresentado na Figura 78 do módulo anterior? Daremos sequência ao nosso estudo a partir dela. Sabemos, por exemplo, que à medida que transcorre o dia, a sala ganha e perde calor através dos componentes da envoltória por condução, convecção e radiação nas superfícies externas e internas do edifício. Também sabemos que os materiais construtivos que constituem os componentes do envelope podem “facilitar” ou “retardar” esse processo de transferência de calor para o interior dos ambientes.

Além disso, sabemos, ainda que intuitivamente, que o escritório segue uma “rotina” de uso e operação. Como assim? Ora, havendo pessoas (ocupantes / usuários), há o desempenho de atividades diárias. Essas atividades podem ser laborais ou não. Podem acontecer todos os dias em determinados períodos, ou podem acontecer apenas durante os dias úteis da semana seguindo uma rigorosa agenda.

E, se há pessoas, sabemos (até como consequência natural) que equipamentos elétricos serão acionados, janelas e portas serão abertas e fechadas, luzes serão acesas e apagadas, mais indivíduos adentrarão o ambiente e outros sairão, enfim, uma série de ações que constituem a “rotina” de uso e operação da edificação e de seus sistemas e necessárias para a convivência humana, conforto dos usuários e desempenho das atividades.

Todas essas ações refletem nos ganhos internos de calor com iluminação, equipamentos, infiltração e ocupação da zona térmica. De acordo com Sorgato (2009), esses parâmetros são fundamentais para realizar o cálculo do balanço térmico na envoltória.

Balanço térmico? Lhe soa familiar? Rememore que no módulo primeiro estudamos que os modelos do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> interagem entre si até culminarem no modelo de balanço térmico, responsável por calcular a maioria das variáveis de interesse do simulador. Mas, afinal, o que é o balanço térmico?

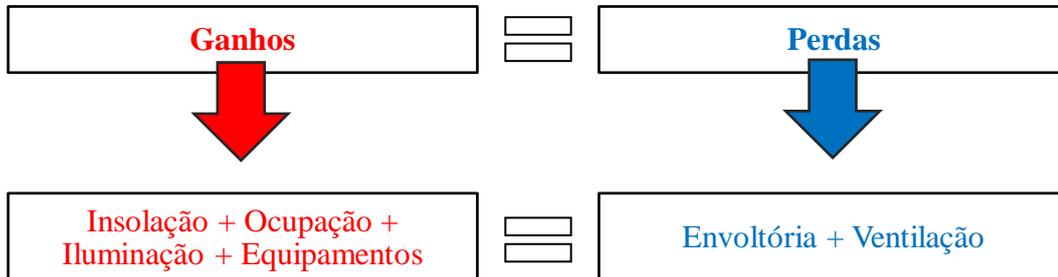
De acordo com Ordenes, Lamberts e Güths (2008), o balanço térmico pode ser definido como:

## Balanco térmico

Com base na primeira lei da termodinâmica (lei da conservação da energia), o balanço térmico na envoltória é resultado da quantidade de calor (energia térmica) que entra em um determinado volume de controle somado à quantidade de calor gerada no interior deste volume (ganhos internos), menos a quantidade de energia que deixa o volume, o que deve ser igual ao aumento da quantidade de energia armazenada no volume de controle (ORDENES; LAMBERTS; GUTHS, 2008).

Em outras palavras, o balanço térmico da zona térmica envolve os ganhos por insolação (envolvendo os processos de transferência de calor para a envoltória vistos no módulo anterior) somados aos ganhos internos com sistemas de iluminação, equipamentos elétricos, infiltração de ar<sup>26</sup> e ocupação (MELO, 2007). Para facilitar a visualização dos elementos citados, retorne à Figura 78. O esquema da Figura 121 expressa o cálculo do balanço térmico do edifício.

Figura 121: Balanço térmico do edifício



**OBSERVAÇÃO!!!** O EnergyPlus™ faz o balanço térmico da envoltória considerando no modelo as fontes de energia térmica atuantes no ambiente (veja a Figura 4 do Módulo I). O programa então fornece, hora a hora, os ganhos e perdas de calor de cada superfície do edifício, como também ganhos do sistema de iluminação, equipamentos, ocupação para cada zona térmica (DOE, 2020a).



O lado vermelho “ganhos” representa o cálculo da chamada carga térmica, resultado da soma de todas as fontes de calor em um ambiente. O cálculo da carga térmica tem o intuito de

<sup>26</sup> Infiltração é o fluxo de ar externo para o interior do edifício através de frestas e outras aberturas não intencionais, e através do uso de portas situadas na fachada.

determinar a quantidade de calor a ser retirada do ambiente para dar-lhe condições ideais de conforto térmico. Logo, a carga térmica representa a principal base para o projeto de sistemas de condicionamento de ar.

Conseqüentemente, os ganhos de calor por meio da envoltória, de pessoas, iluminação, equipamentos, renovação de ar e infiltração são parâmetros essenciais para o dimensionamento de um ar condicionado. Tal ganho é classificado pelo modo de transferência: sensível ou latente. O primeiro é resultado do ganho direto no ambiente, por meio de condução, convecção, e radiação, sendo as principais fontes a própria envoltória, pessoas, iluminação, equipamentos internos, renovação de ar e infiltração, quando da desocupação do edifício. O ganho de calor latente, por sua vez, ocorre quando umidade é adicionada ao ambiente (transpiração de pessoas, ou vapor de equipamentos; renovação de ar e infiltração, quando da desocupação do edifício).

Os cálculos das cargas térmicas devem ser os mais exatos possíveis, evitando a aplicação de “fatores de segurança” arbitrários para compensar eventuais incertezas no cálculo, conforme pontua a normativa NBR 16.401:2008 (ABNT, 2008). Então, o cálculo de carga térmica deve “descrever” precisamente o edifício, com informações e características reais do projeto, a fim de evitar superdimensionamento do sistema e custos desnecessários.



**Para saber mais** sobre os parâmetros envolvidos no cálculo da carga térmica e os métodos utilizados, recomendamos a leitura da NBR 16.401-1:2008 (ABNT, 2008), a partir do capítulo 6 ou do manual *ASHRAE Fundamentals*, capítulos 29 e 30 (ASHRAE, 2017).

Você deve ter notado que repetitivamente listamos os termos envoltória, zona térmica, pessoas, iluminação, equipamentos. Estas são variáveis de entrada fundamentais para simulação do desempenho das edificações. Diante disso, é importante que esses conceitos estejam bem definidos em sua mente. Se não compreendeu algo, procure ler novamente os capítulos deste módulo ou busque pelo conteúdo nas referências assinaladas ou mesmo pesquise na *internet*.

Como este é um manual de introdução à simulação computacional termoenergética, nos capítulos e roteiros seguintes apresentaremos as informações fundamentais para alimentar os programas de simulação relativos a estes dados de entrada. Iniciemos pela modelagem de uma zona térmica.

## ROTEIRO V-a

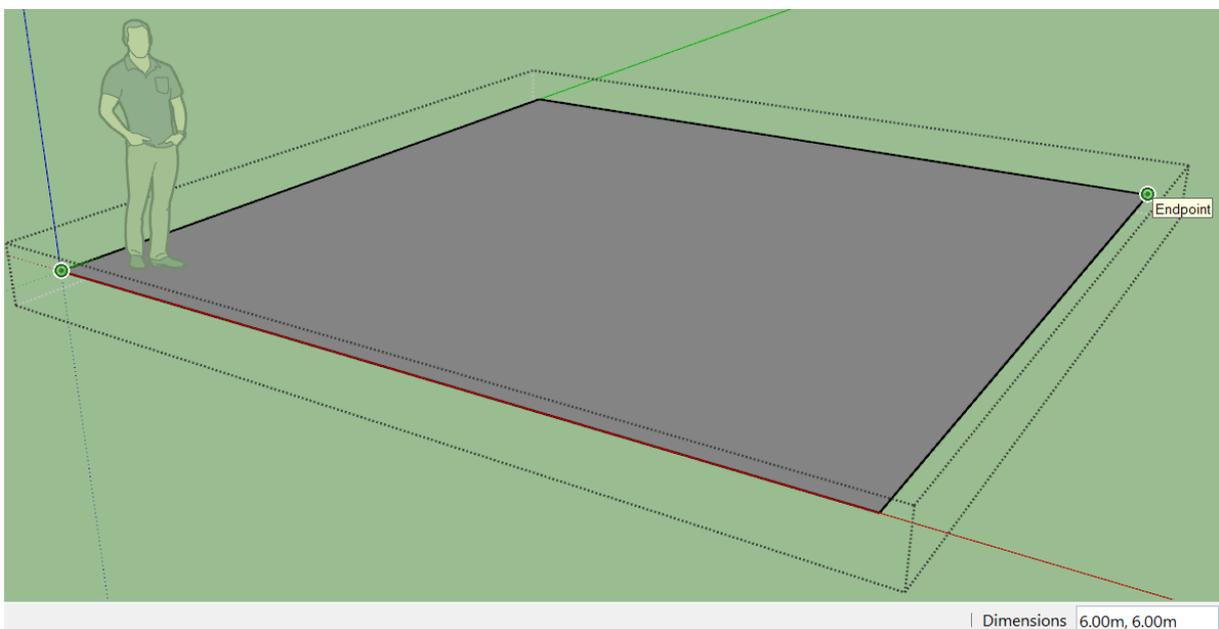
# MODELANDO UMA ZONA TÉRMICA NO *OPENSTUDIO*<sup>®</sup>

Abra o programa *SketchUp* e carregue o *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup>. Os passos para início da modelagem no *plugin* foram explicados no Roteiro IV-a, caso tenha alguma dúvida.

Crie um *New Space* . Em seguida, entre no *Space* (pode ser a partir da origem do eixo cartesiano) para começar a desenhar (não se esqueça de pressionar o *Enter* do teclado após o surgimento do cubo amarelo).

Agora, vamos criar a geometria que será interpretada pelo *EnergyPlus*. Começemos pelo piso da zona térmica. Desenhe  um retângulo de 6x6 m.

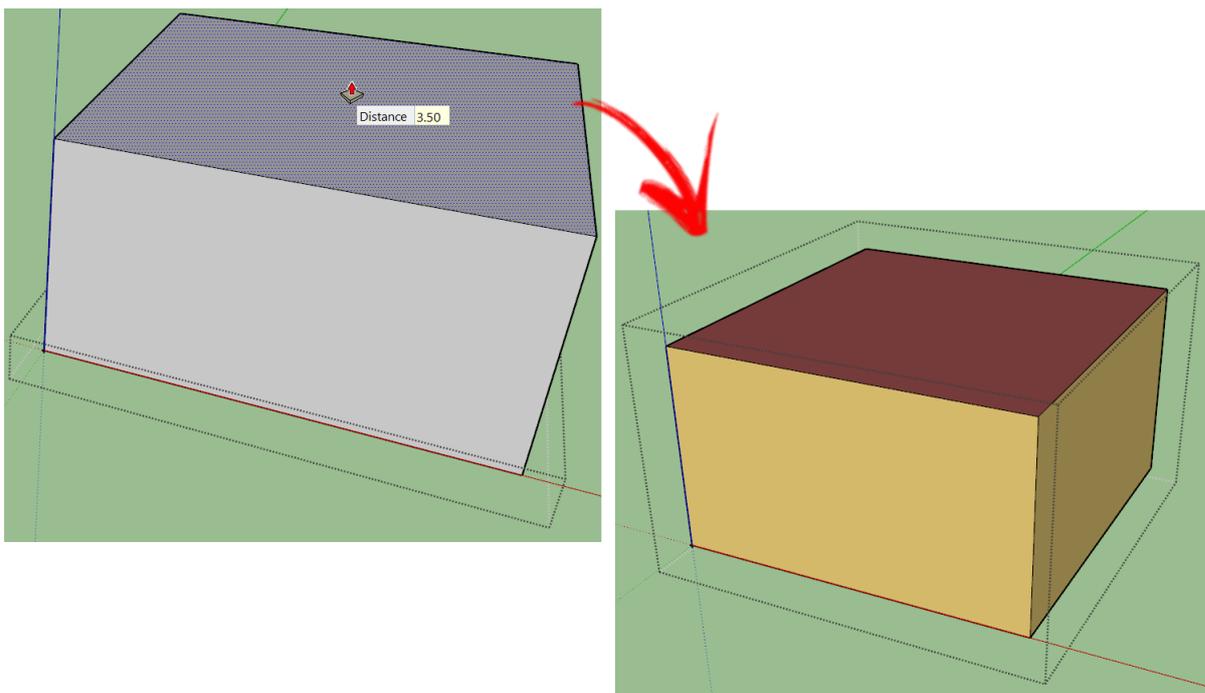
Figura 122: Desenhando uma superfície de piso no *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup> para *SketchUp*



Para fechar a zona térmica, é preciso desenhar as paredes e o teto. Para tanto, há diversas possibilidades, sendo as duas principais: (i) com o lápis (ou a ferramenta de retângulo), parede por parede, e depois o teto; ou, (ii) com a ferramenta *Push/Pull*  do *SketchUp*, que permite fazer todos de uma vez (transformando a superfície do piso em um volume não-sólido).

Por ser mais rápido e prático, utilizaremos o *Push/Pull*. Basta selecioná-lo no menu de ferramentas, clicar sobre a superfície do piso e arrastar para cima. Considere o pé-direito de 3,5 m. Automaticamente, o programa interpretará os novos elementos como paredes (em amarelo) e teto (em vermelho escuro), conforme a Figura 123.

Figura 123: Desenhando superfícies de paredes e teto no *plugin* do *OpenStudio*<sup>®</sup> para *SketchUp*



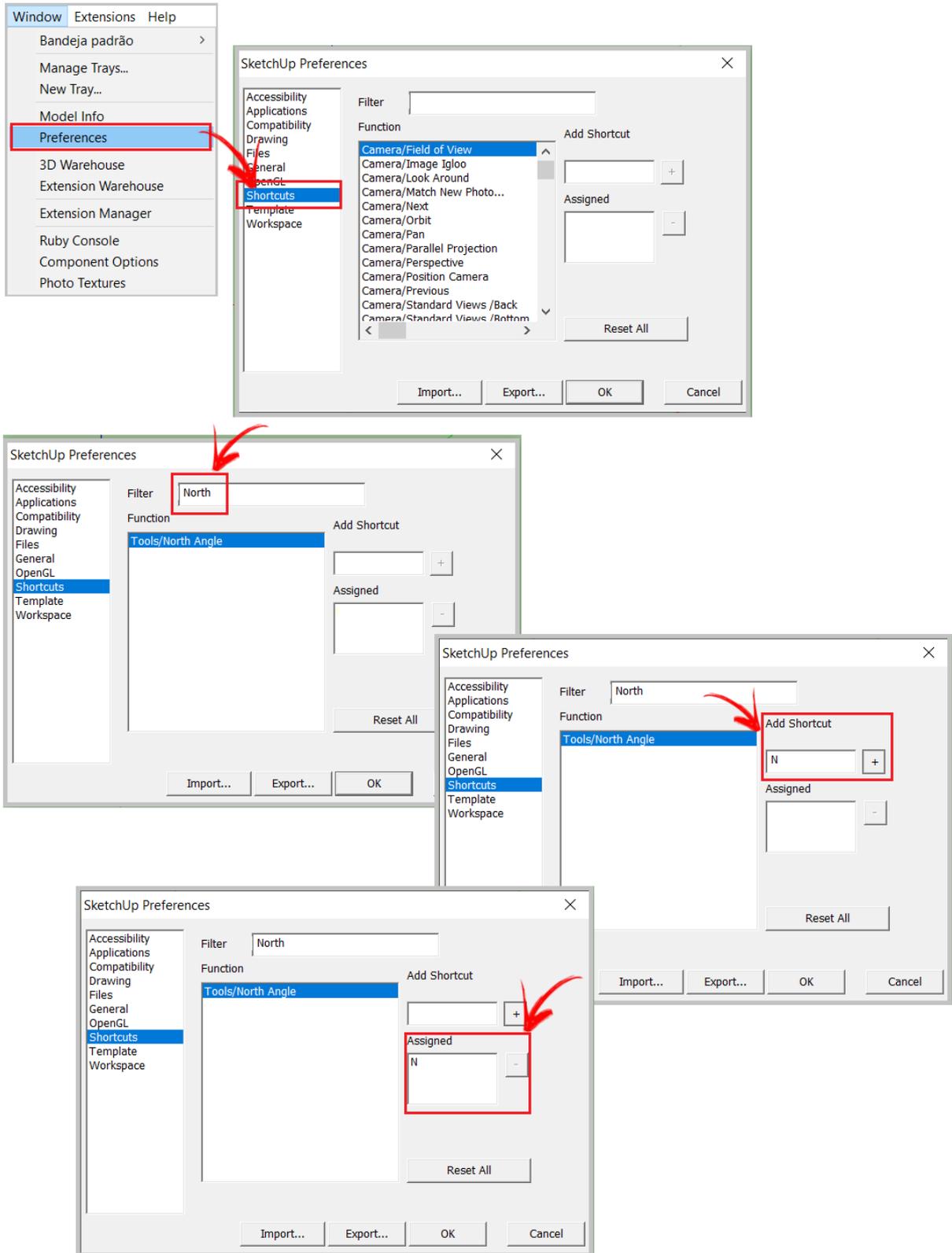
Agora, vamos desenhar portas e janelas em nosso modelo. Iniciemos por uma janela na fachada norte. E como identificar qual é a fachada norte?

É simples. Convencionalmente o *SketchUp* adota o eixo verde como o Norte. Mas você pode atribuir outras direções. Para visualizá-lo, acesse o menu *Window* (janela) e clique em *Preferences* (preferências). Uma tela irá se abrir (*SketchUp Preferences*). Vá até o item *Shortcuts* (Atalhos). Então, no campo de pesquisa (*Filter* ou Filtro) busque por *North* (Norte).

Será exibida a opção de *Tools/North Angle* (Ferramentas/Ângulo Norte). Defina uma tecla de atalho para esta ferramenta, por exemplo “N”. Em *Add Shortcut* (Adicionar atalho) insira a letra “N”. Depois, clique no sinal de “+” para atribuí-la. Observe que isso fará com que ela seja exibida no campo *Assigned* (Atribuído), conforme ilustra a Figura 124.

Pronto! Retorne ao projeto, digite “N” para acionar o comando e clique sobre um eixo de referência. Manteremos a convenção do programa e utilizaremos o eixo verde.

Figura 124: Passos para seleção do Norte no SketchUp



Havendo localizado a fachada norte, utilize o lápis ou retângulo para desenhar uma janela centralizada de 4,0m x 1,0m (comprimento x altura) e com peitoril de 2,0m, conforme demonstrado na Figura 125. Perceba que o *plugin* automaticamente identificará o elemento desenhado como uma janela.

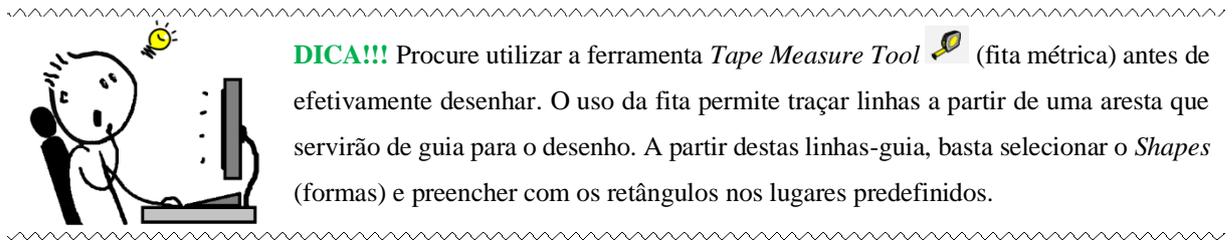
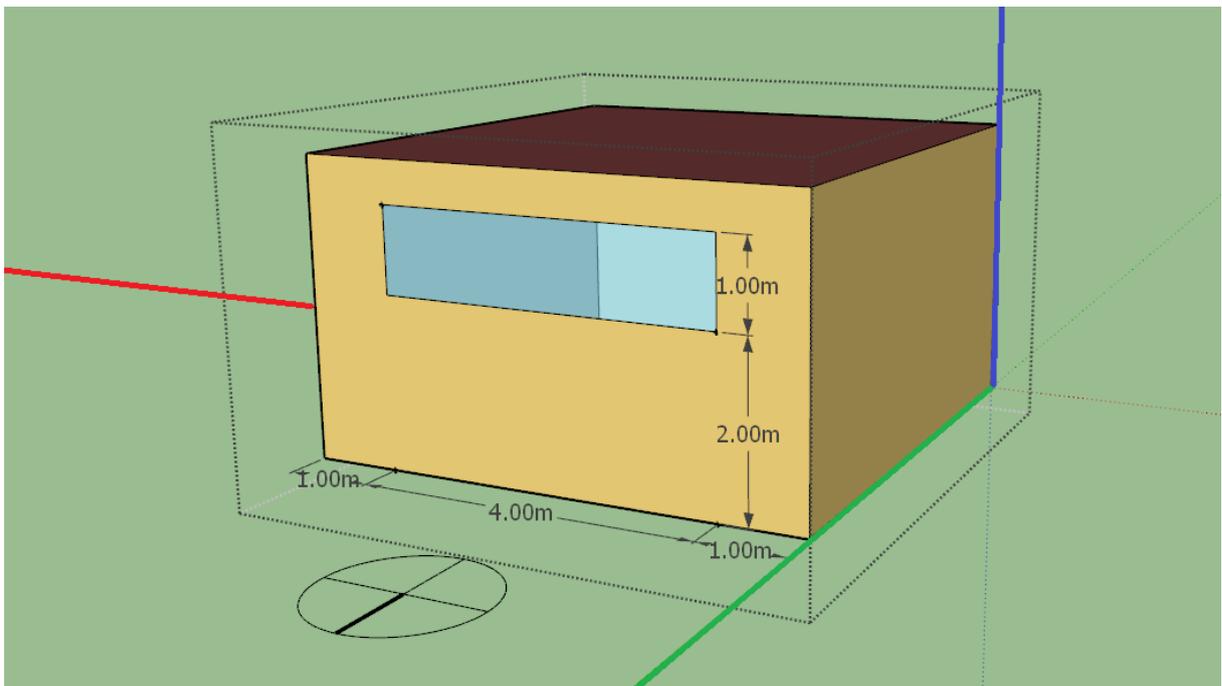


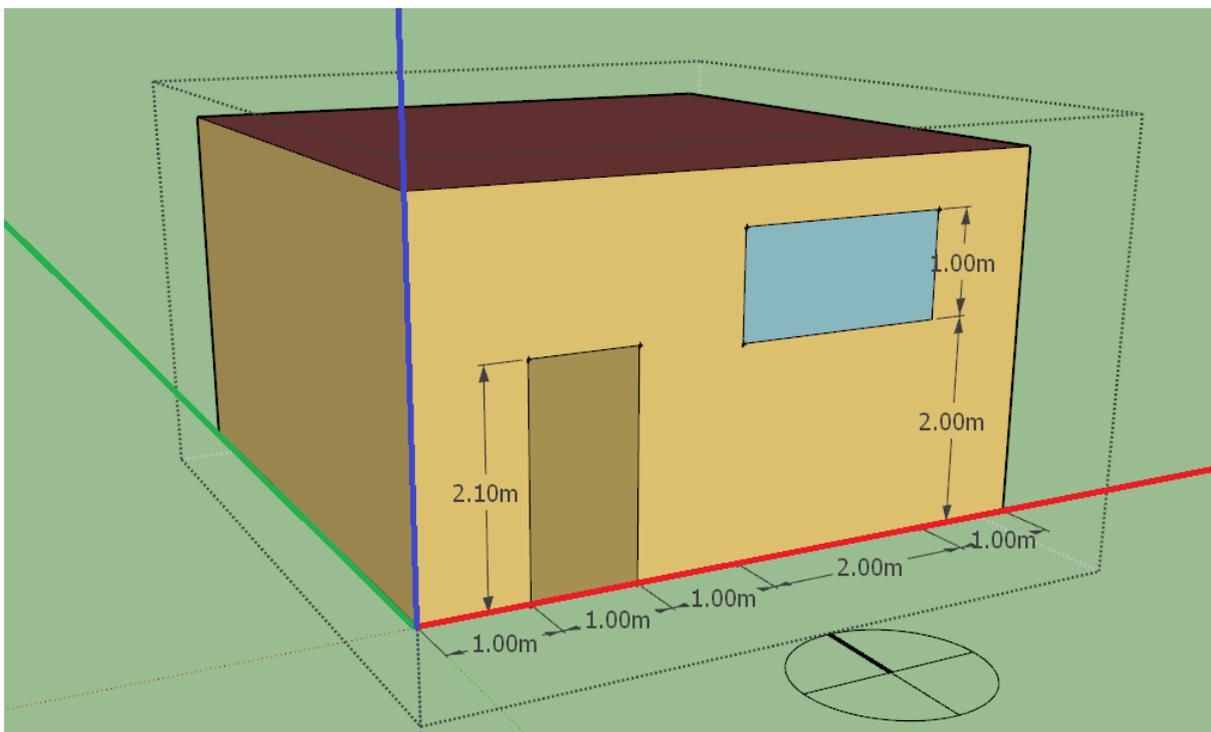
Figura 125: Desenhando uma janela em uma fachada no *plugin* do *OpenStudio*®



Na fachada oposta (sul), crie uma porta de 1,0m x 2,1m. A porta inicia-se a partir da “parede da esquerda” (do ponto de vista do observador), com distância de 1m. Após desenhada, o *plugin* reconhecerá como uma porta.

Depois, desenha uma janela medindo 2,0m x 1,0m com peitoril de 2,0m. A janela, do mesmo modo, dista 1m da porta e da outra parede. Para facilitar a visualização, exageramos nas cores dos eixos de referência, conforme demonstrado na Figura 126.

Figura 126: Desenhando uma porta e uma janela no *plugin* do *OpenStudio*®



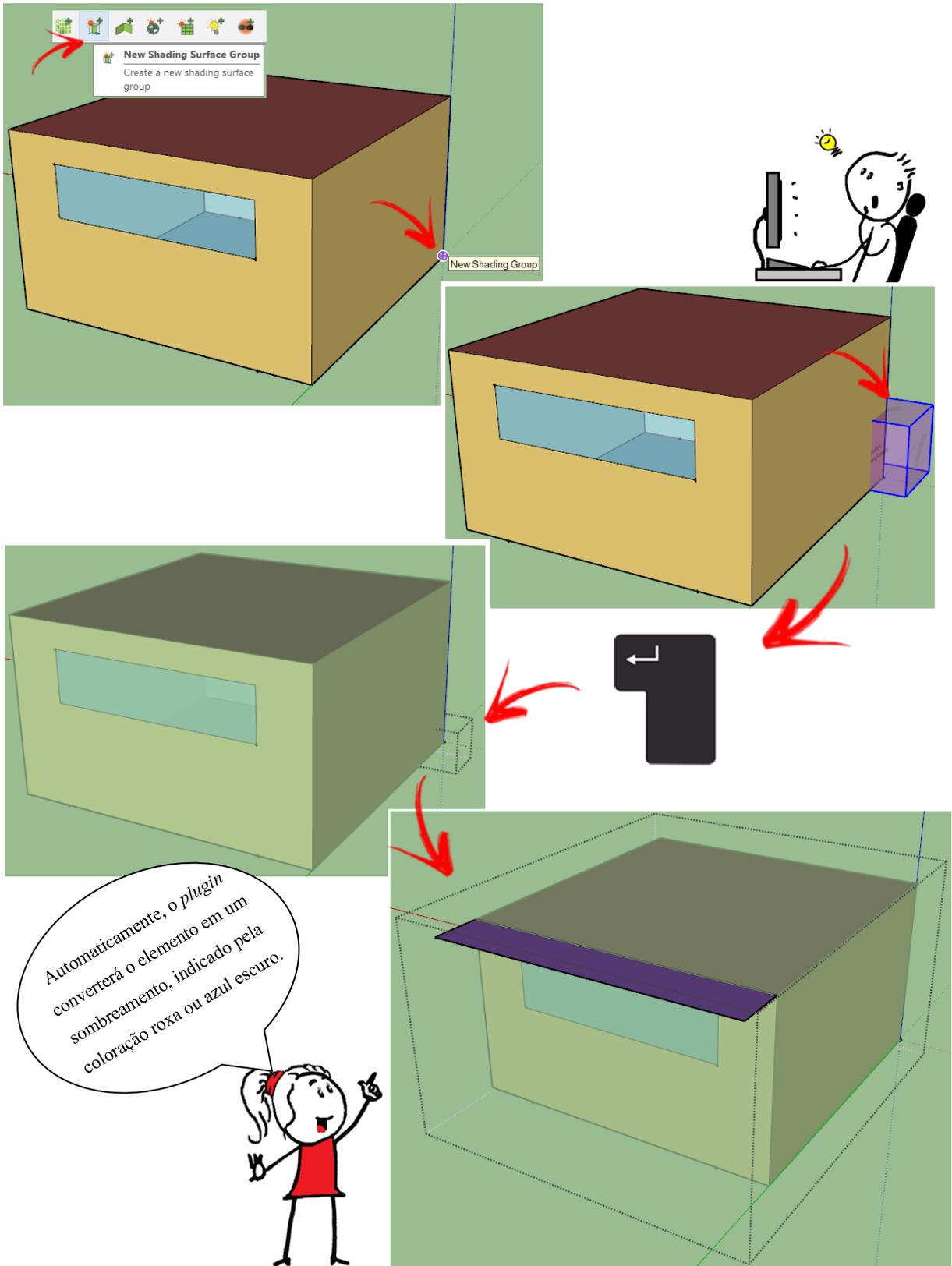
**OBSERVAÇÃO!!!** Um importante detalhe é que o *EnergyPlus*™ interpreta adequadamente as aberturas quando estas são retangulares, mas nem sempre outros formatos. Então, caso houvessemos uma janela que não fosse retangular, é recomendável calcular uma área equivalente e transformá-la em um retângulo, evitando a ocorrência de erros na simulação.

Até agora trabalhamos com o *space* (para superfícies e subsuperfícies). Vamos desenhar também um elemento de sombreamento em uma das paredes da zona térmica de exemplo. Para criá-lo, devemos acessar o *New Shading Surface Group*.

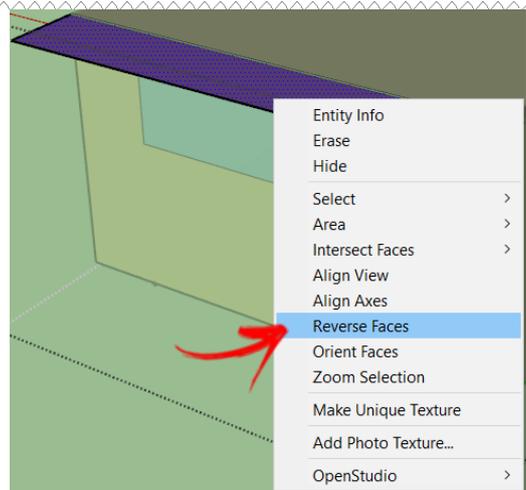
Clique sobre o ícone . Do mesmo modo como já aprendemos para o *New Space*, é preciso selecionar uma coordenada inicial. Para facilitar, adote a origem dos eixos cartesianos do *SketchUp* (0, 0, 0). Em seguida, pressione a tecla *Enter* para entrar no ambiente de criação das superfícies de sombreamento.

Então, vá até a fachada norte e utilize uma ferramenta de desenho para criar um elemento de sombreamento medindo 6,0m de comprimento por 1,0m de largura. A Figura 127 ilustra os procedimentos descritos.

Figura 127: Criando um elemento de sombreamento no *plugin* do *OpenStudio®*



**ATENÇÃO!!!** Pode acontecer do elemento de sombreamento ficar na cor branca ou cinza após desenhado. Para resolver este problema, basta inverter as faces (clique com o botão direito sobre o elemento e selecione a opção *Reverse Faces*). Pronto!



Note que o sombreamento pertence a um grupo separado do *Space*, sendo interpretado como uma superfície do *ShadingSurfaceGroup*. Isso se deve ao fato de que, diferentemente de uma superfície usual de parede, piso, laje etc., o sombreamento não recebe nenhum material (e, conseqüentemente, não são atribuídas propriedades térmicas), justamente por funcionar como um obstáculo opaco à radiação solar praticamente adiabático (logo, é um elemento “isolado” das trocas de calor, sem nenhum efeito térmico propriamente dito).

Findado o desenho, acesse o *Inspector* para editar as informações dos objetos criados. Procure sempre identificá-los no *plugin* antes de exportar o modelo para o *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Além do ganho de tempo, facilitará entender com o que se está trabalhando no *IDF Editor*.

Procure utilizar nomes simples, mantendo um padrão de reconhecimento. Por exemplo, para o *OS:Building*, adotaremos “Modelo1Z”.

Para renomear as superfícies e subsuperfícies, clique sobre o objeto de interesse com a janela do *Inspector* aberta. Tome como exemplo as Figuras 128 e 129, iniciando pela fachada norte, que recebera o nome de “Parede\_N”, avançando para as demais paredes conforme sua orientação. As subsuperfícies de janelas e portas foram identificadas com base na parede a qual pertencem e, da mesma forma, foi feito para o elemento de sombreamento.

Diante disso, os seguintes nomes foram adotados no modelo:

|                          |                                            |
|--------------------------|--------------------------------------------|
| Parede Norte: “Parede_N” | Piso: “Piso”                               |
| Parede Sul: “Parede_S”   | Janela Sul: “Janela_S”                     |
| Parede Leste: “Parede_L” | Porta Sul: “Porta_S”                       |
| Parede Oeste: “Parede_O” | Janela Norte: “Janela_N”                   |
| Cobertura: “Cobertura”   | Elemento de sombreamento: “Sombreamento_N” |

Figura 128: Renomeando uma parede a partir do *OpenStudio Inspector*

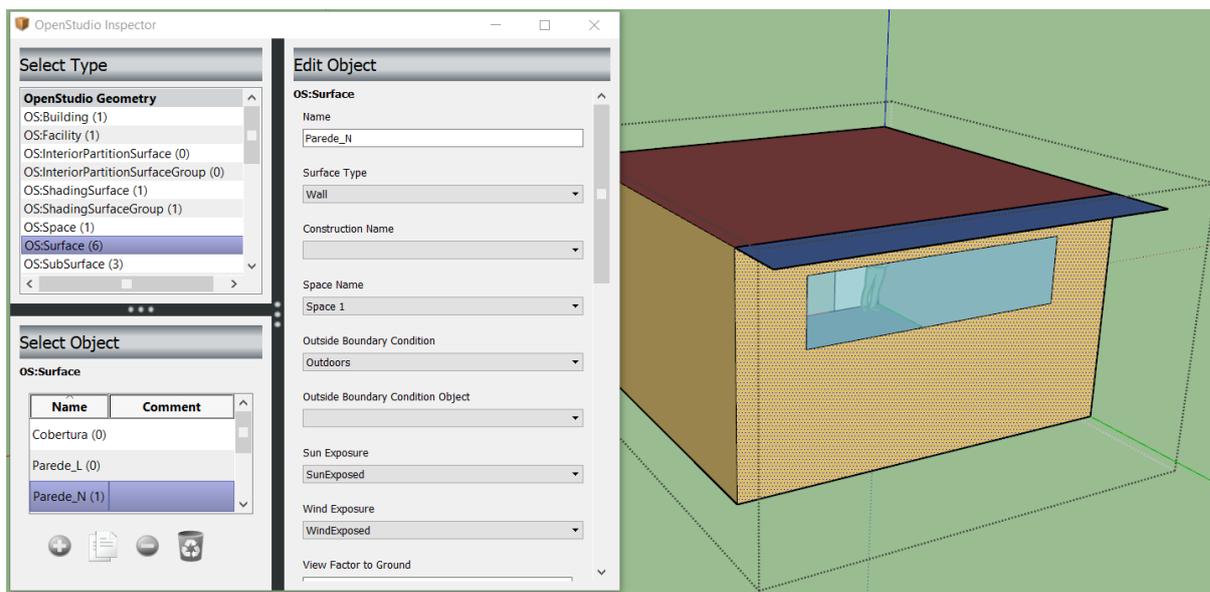
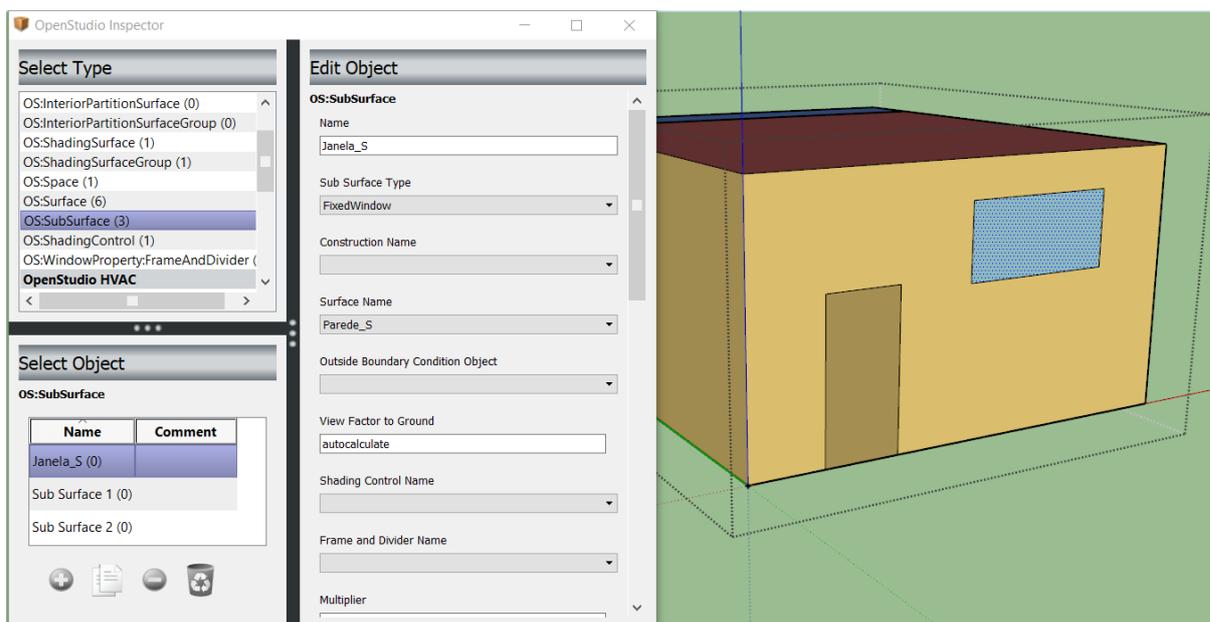


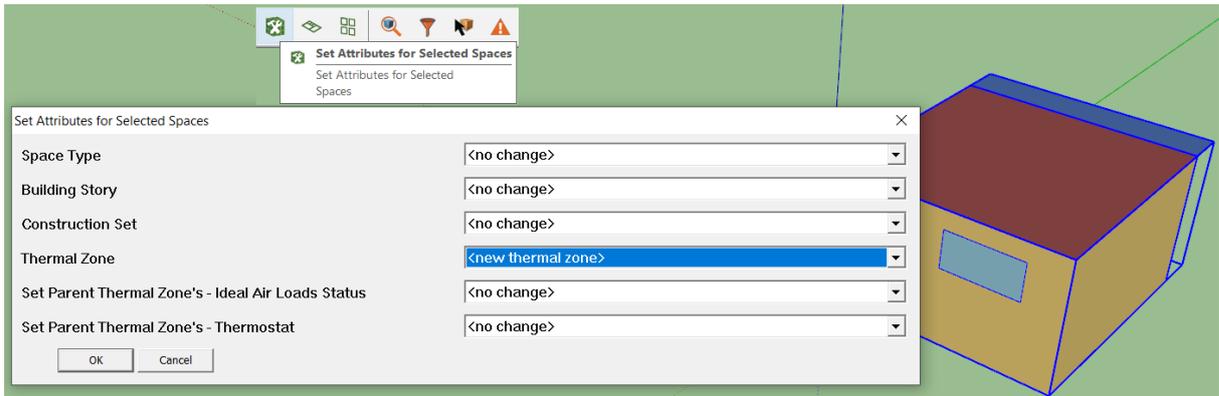
Figura 129: Renomeando uma janela a partir do *OpenStudio Inspector*



São diversas possibilidades, pense e escolha aquela que melhor lhe parecer.

Por fim, atribua uma zona térmica (*termal zone*) ao modelo, conforme lhe ensinamos no Roteiro IV-a. Em seguida, abra o *Inspector* e renomeie a zona térmica criada como “ZT\_1” (lembre-se que ela deve estar atribuída ao *Space*).

Figura 130: Atribuindo uma zona térmica ao modelo



Salve o modelo do *OpenStudio*®  (por exemplo, “Modelo1Z.osm”) e, em seguida, exporte  como “Modelo1Z.idf” para uso no *EnergyPlus*™.

Caso você esteja usando o *Euclid*, compatibilize o arquivo .idf gerado a partir do *plugin* com a versão utilizada do *EnergyPlus*™. Se necessário, volte ao Roteiro IV-a para relembrar como exportar um .idf ou compatibilizá-lo.

A seguir, vamos atribuir à zona térmica tudo aquilo que já aprendemos com os roteiros anteriores: dados de clima, definição e propriedades dos materiais, construção dos componentes construtivos, configuração das saídas e outros detalhes necessários para rodar uma simulação no *EnergyPlus*™.

## ROTEIRO V-b

# CONFIGURANDO UMA ZONA TÉRMICA NO ENERGYPLUS™

Abra o arquivo *Modelo1Z.idf* no *IDF Editor*. Você já sabe, mas não custa lembrar: o *OpenStudio®* cria vários objetos com os parâmetros predefinidos pelo *plugin*. Muitos deles serão abordados ainda neste roteiro.

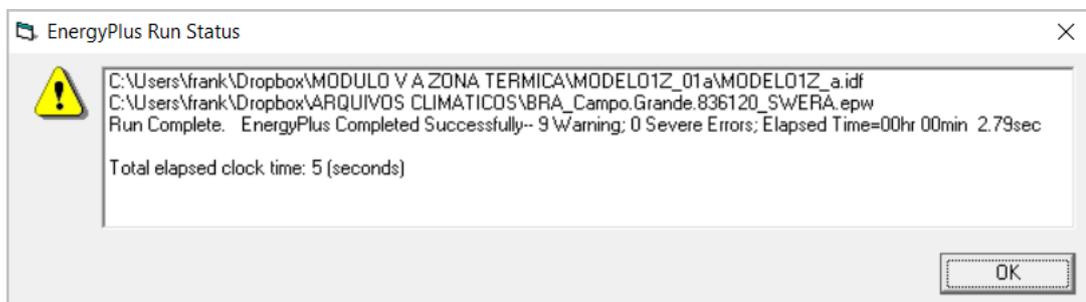
Mas, antes de começarmos a configurar as classes de objetos, vamos ajustar apenas os dados de clima do modelo para simular e resgatar o arquivo *.rdd*. Continuaremos utilizando o arquivo climático de entrada do município de Campo Grande do tipo SWERA.

Conforme você estudou no roteiro III-b, abra o arquivo *.ddy* de Campo Grande e copie o único objeto do *Site:Location* e o 2º e 8º objetos do *SizingPeriod:DesignDay* e cole-os nas referidas classes dentro do *Modelo1Z.idf*. Lembrando que a seleção dos dias típicos (um para o inverno e outro para o verão) é fruto de uma escolha. Se tiver alguma dúvida neste processo, retorne ao Roteiro III-b e acompanhe estes passos de um modo mais detalhado.

Então, salve como um novo arquivo (*Modelo1Z\_a.idf*, por exemplo) para não “perder” as configurações originais do *Modelo1Z*.

Feche o *IDF Editor* e simule o modelo (0 *severe errors*; 9 *warning's*).

Figura 131: *Run Status* do *Modelo1Z\_a*



No *EP-Launch*, abra o relatório do arquivo *.rdd*  para ter uma visão geral das informações que podem ser requisitadas com base no modelo *.idf*.

Perceba que são diversas opções de *outputs*! Enquanto no *Minimal.idf* haviam poucas possibilidades de variáveis de saída (essencialmente ligadas ao clima), agora estão disponíveis

parâmetros relativos ao clima local e de sua interação com as superfícies, aos ganhos internos de calor da zona térmica (por radiação, condução, convecção, ocupação de pessoas, rotinas de operação de equipamentos elétricos, iluminação, infiltração nas aberturas etc.) e indicadores de conforto térmico e consumo de energia com sistemas AVAC. Enfim, muito do que estudamos (na teoria) até então.

Vamos corrigir os *warnings* reportados no log de erros e editar alguns *inputs* com base naquilo que já aprendemos para uma superfície, aplicando-os agora à zona térmica. A propósito, quanto ao preenchimento dos campos dos objetos já explicados nos módulos anteriores, seremos sucintos. Para maiores detalhes, consulte os manuais de referência do *EnergyPlus*™.

## MODELO1Z\_01.idf

Abra o Modelo1Z\_a.idf. Então, “limpe” a *Class List* deletando todos os objetos das classes abaixo listadas:

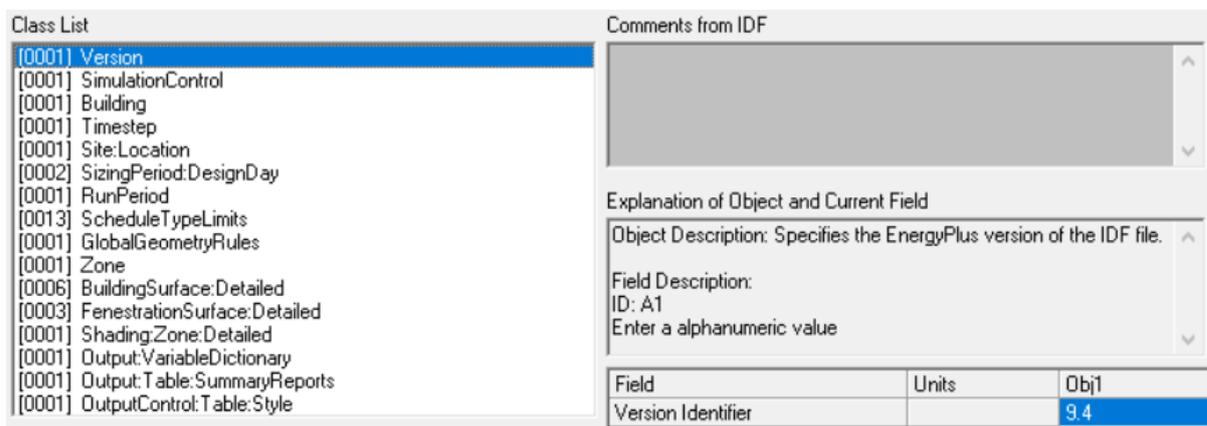
|                                           |                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Schedule:Day:Interval</i>              | <i>ZoneList</i>                         |
| <i>Schedule:Week:Interval</i> (se houver) | <i>WindowProperty:FrameAndDivider</i>   |
| <i>Schedule:Week:Daily</i>                | <i>People</i>                           |
| <i>Schedule:Year</i>                      | <i>Lights</i>                           |
| <i>Schedule:Constant</i>                  | <i>ElectricEquipment</i>                |
| <i>Material</i>                           | <i>ZoneInfiltration:DesignFlowRate</i>  |
| <i>Material:NoMass</i>                    | <i>Sizing:Parameters</i>                |
| <i>Material:AirGap</i>                    | <i>OutdoorAir:Node</i>                  |
| <i>WindowMaterial:Glazing</i>             | <i>LifeCycleCost:Parameters</i>         |
| <i>WindowMaterial:Blind</i>               | <i>LifeCycleCost:NonrecurringCost</i>   |
| <i>Construction</i>                       | <i>LifeCycleCost:UsePriceEscalation</i> |
| <i>Construction:AirBoundary</i>           | <i>Output:SQLite</i>                    |



**DICA!!!** Utilize o botão *Del Obj*  para apagar um único objeto. Depois, mantenha a tecla *Enter* pressionada. Assim, você apagará rapidamente as classes que contenham muitos objetos, como a *Schedule:Day:Interval*. Mas tenha cuidado, pois é fácil perder o controle e deletar mais do que deveria!

Ao final, restarão as seguintes classes de objetos:

Figura 132: *Class List* resultante do Modelo1Z após a exclusão de muitos objetos predefinidos



Com o modelo limpo, fica mais fácil trabalhar com as classes essenciais (remanescentes) e com os objetos que serão criados personalizados para a zona térmica de exemplo. Iniciemos pelo *SimulationControl*. Configure o *Obj1* para realizar apenas a simulação anual para o arquivo climático (campo *Run Simulation for Weather File Run Periods* > *Yes*), conforme mostrado na Figura 133.

Figura 133: Configuração do *SimulationControl* do modelo de uma zona térmica

| Field                                           | Units | Obj1 |
|-------------------------------------------------|-------|------|
| Do Zone Sizing Calculation                      |       | No   |
| Do System Sizing Calculation                    |       | No   |
| Do Plant Sizing Calculation                     |       | No   |
| Run Simulation for Sizing Periods               |       | No   |
| Run Simulation for Weather File Run Periods     |       | Yes  |
| Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods    |       | No   |
| Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes |       | 1    |

Em seguida, modifique o *Obj1* do *Building*. Se você não editou previamente o nome do objeto no *plug-in* do *OpenStudio*®, preencha este campo como “Modelo1Z” ou outro que julgar apropriado. Quanto aos demais *fields*, selecione os valores *default* do programa *EnergyPlus*™, mantendo a convenção de número mínimo de *warmup* = 6.

Figura 134: Configuração do *Building* do modelo de uma zona térmica

| Field                                   | Units  | Obj1         |
|-----------------------------------------|--------|--------------|
| Name                                    |        | Modelo1Z     |
| North Axis                              | deg    | 0            |
| Terrain                                 |        | City         |
| Loads Convergence Tolerance Value       | W      | 0.04         |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0.4          |
| Solar Distribution                      |        | FullExterior |
| Maximum Number of Warmup Days           |        | 25           |
| Minimum Number of Warmup Days           |        | 6            |

Edite também o *RunPeriod*. Troque os indicadores de chuva e de neve para não.

Figura 135: Configuração do *RunPeriod* do modelo de uma zona térmica

| Field                                      | Units | Obj1         |
|--------------------------------------------|-------|--------------|
| Name                                       |       | Run Period 1 |
| Begin Month                                |       | 1            |
| Begin Day of Month                         |       | 1            |
| Begin Year                                 |       |              |
| End Month                                  |       | 12           |
| End Day of Month                           |       | 31           |
| End Year                                   |       |              |
| Day of Week for Start Day                  |       | Thursday     |
| Use Weather File Holidays and Special Days |       | No           |
| Use Weather File Daylight Saving Period    |       | No           |
| Apply Weekend Holiday Rule                 |       | No           |
| Use Weather File Rain Indicators           |       | No           |
| Use Weather File Snow Indicators           |       | No           |
| Treat Weather as Actual                    |       | No           |

Mantenha o *TimeStep* inalterado = 6.

No *OutputControl:Table:Style* selecione a unidade de conversão *JToKWH*.

Localize a classe do *Output:Variable*. Crie três objetos e selecione as temperaturas de bulbo seco, operativa e média do ar da zona térmica como saídas, conforme mostrado na Figura 131. Como há muitas opções disponíveis (você pôde perceber pelo RDD), copie e cole os nomes dos seguintes parâmetros no campo do *Variable Name* para ficar mais fácil:

*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*  
*Zone Mean Air Temperature*  
*Zone Operative Temperature*

Figura 136: Configuração do *Output:Variable* do modelo de uma zona térmica

| Field               | Units | Obj1                                 | Obj2                      | Obj3                       |
|---------------------|-------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Key Value           |       | *                                    | *                         | *                          |
| Variable Name       |       | Site Outdoor Air Drybulb Temperature | Zone Mean Air Temperature | Zone Operative Temperature |
| Reporting Frequency |       | Hourly                               | Hourly                    | Hourly                     |
| Schedule Name       |       |                                      |                           |                            |

As variáveis *Zone Operative Temperature* (temperatura operativa do ambiente) e *Zone Mean Air Temperature* aparecem pela primeira vez em nosso estudo. A temperatura operativa<sup>27</sup> da zona térmica é um indicador de conforto térmico. Já a temperatura média do ar no interior da zona térmica é um parâmetro autoexplicativo.

Acesse o *BuildingSurface:Detailed*. Note que alguns objetos estão em laranja. Como apagamos todos os objetos do *Construction*, o programa não encontrou correspondência entre o que está identificado no campo *Construction Name* com o que de fato está configurado no *Construction*. Logo, nem precisa dizer que a simulação dará erro se não corrigirmos estes dados. Aproveite a imagem abaixo para conferir se você nomeou todas as superfícies, se estas estão corretamente identificadas quanto ao tipo, à zona térmica a que pertencem, exposição ao sol e vento e coordenadas nos três eixos.

Figura 137: Objetos do *BuildingSurface:Detailed* do modelo de uma zona térmica

| Field                             | Units | Obj1             | Obj2             | Obj3             | Obj4             | Obj5             | Obj6                |
|-----------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| Name                              |       | Cobertura        | Parede_L         | Parede_N         | Parede_O         | Parede_S         | Piso                |
| Surface Type                      |       | Roof             | Wall             | Wall             | Wall             | Wall             | Floor               |
| Construction Name                 |       | ASHRAE 189.1-20C | ExtSlabCarpet 4in C |
| Zone Name                         |       | ZT_1             | ZT_1             | ZT_1             | ZT_1             | ZT_1             | ZT_1                |
| Outside Boundary Condition        |       | Outdoors         | Outdoors         | Outdoors         | Outdoors         | Outdoors         | Ground              |
| Outside Boundary Condition Object |       |                  |                  |                  |                  |                  |                     |
| Sun Exposure                      |       | SunExposed       | SunExposed       | SunExposed       | SunExposed       | SunExposed       | NoSun               |
| Wind Exposure                     |       | WindExposed      | WindExposed      | WindExposed      | WindExposed      | WindExposed      | NoWind              |
| View Factor to Ground             |       |                  |                  |                  |                  |                  |                     |
| Number of Vertices                |       |                  |                  |                  |                  |                  |                     |
| Vertex 1 X-coordinate             | m     | 6                | 6                | 6                | 0                | 0                | 6                   |
| Vertex 1 Y-coordinate             | m     | 0                | 0                | 6                | 6                | 0                | 6                   |
| Vertex 1 Z-coordinate             | m     | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 0                   |
| Vertex 2 X-coordinate             | m     | 6                | 6                | 6                | 0                | 0                | 6                   |
| Vertex 2 Y-coordinate             | m     | 6                | 0                | 6                | 6                | 0                | 0                   |
| Vertex 2 Z-coordinate             | m     | 3.5              | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                   |
| Vertex 3 X-coordinate             | m     | 0                | 6                | 0                | 0                | 6                | 0                   |
| Vertex 3 Y-coordinate             | m     | 6                | 6                | 6                | 0                | 0                | 0                   |
| Vertex 3 Z-coordinate             | m     | 3.5              | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                   |
| Vertex 4 X-coordinate             | m     | 0                | 6                | 0                | 0                | 6                | 0                   |
| Vertex 4 Y-coordinate             | m     | 0                | 6                | 6                | 0                | 0                | 6                   |
| Vertex 4 Z-coordinate             | m     | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 3.5              | 0                   |

<sup>27</sup> De acordo com Lamberts e Xavier (2002, p. 18): “A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro hipotético, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real”. Este parâmetro pode ser calculado com suficiente aproximação como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante. Em outras palavras, a temperatura operativa é o parâmetro que representa o que os seres humanos experimentam termicamente em um espaço.

Do mesmo modo ocorre com o *FenestrationSurface:Detailed*. Aproveite também para conferir os campos das janelas e portas modeladas quanto ao tipo de superfície, parede a qual pertencem, nome, coordenadas etc.

Figura 138: Objetos do *FenestrationSurface:Detailed* do modelo de uma zona térmica

| Field                             | Units | Obj1            | Obj2             | Obj3          |
|-----------------------------------|-------|-----------------|------------------|---------------|
| Name                              |       | Janela_N        | Janela_S         | Porta_S       |
| Surface Type                      |       | Window          | Window           | Door          |
| Construction Name                 |       | ASHRAE 189.1-20 | ASHRAE 189.1-20C | Exterior Door |
| Building Surface Name             |       | Parede_N        | Parede_S         | Parede_S      |
| Outside Boundary Condition Object |       |                 |                  |               |
| View Factor to Ground             |       |                 |                  |               |
| Frame and Divider Name            |       |                 |                  |               |
| Multiplier                        |       |                 |                  |               |
| Number of Vertices                |       |                 |                  |               |
| Vertex 1 X-coordinate             | m     | 5               | 3                | 1             |
| Vertex 1 Y-coordinate             | m     | 6               | 0                | 0             |
| Vertex 1 Z-coordinate             | m     | 3               | 3                | 2.1           |
| Vertex 2 X-coordinate             | m     | 5               | 3                | 1             |
| Vertex 2 Y-coordinate             | m     | 6               | 0                | 0             |
| Vertex 2 Z-coordinate             | m     | 2               | 2                | 0             |
| Vertex 3 X-coordinate             | m     | 1               | 5                | 2             |
| Vertex 3 Y-coordinate             | m     | 6               | 0                | 0             |
| Vertex 3 Z-coordinate             | m     | 2               | 2                | 0             |
| Vertex 4 X-coordinate             | m     | 1               | 5                | 2             |
| Vertex 4 Y-coordinate             | m     | 6               | 0                | 0             |
| Vertex 4 Z-coordinate             | m     | 3               | 3                | 2.1           |

Ora, também havíamos deletado todos os materiais predefinidos, lembra?

Então, antes de mais nada, devemos criar materiais específicos e depois informarmos ao programa como estes se apresentam dispostos em cada elemento da zona térmica. A Tabela 10 apresenta as propriedades térmicas dos materiais de entrada.

Tabela 10: Propriedades térmicas dos materiais construtivos do modelo

| Material         | e (m) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\lambda$ (W/m.K) | c (J/kg.K) | $\alpha$ |
|------------------|-------|-----------------------------|-------------------|------------|----------|
| concreto_parede  | 0,10  | 2.200                       | 1,75              | 1.000      | 0,4      |
| concreto_laje    | 0,08  | 2.400                       | 1,75              | 1.000      | 0,6      |
| concreto_piso    | 0,10  | 2.400                       | 1,75              | 1.000      | 0,6      |
| ceramica_piso    | 0,01  | 1.200                       | 0,90              | 920        | 0,6      |
| ceramica_telhado | 0,01  | 1.000                       | 0,90              | 920        | 0,7      |
| aco_porta        | 0,01  | 7.800                       | 55,00             | 460        | 0,3      |

Com base no exposto, foram criados 6 objetos no *Material*. As espessuras pautaram-se em valores convencionais da construção civil. As propriedades de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico foram extraídos com base em valores normativos da NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005). A absorptância visível recebeu os mesmos valores da solar, que é uma aproximação válida se observamos os resultados de Dornelles (2008).

Figura 139: Configuração do *Material* do modelo de uma zona térmica

| Field               | Units  | Obj1            | Obj2          | Obj3          | Obj4          | Obj5             | Obj6      |
|---------------------|--------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-----------|
| Name                |        | concreto_parede | concreto_laje | concreto_piso | ceramica_piso | ceramica_telhado | aco_porta |
| Roughness           |        | Rough           | Rough         | Rough         | Rough         | Rough            | Smooth    |
| Thickness           | m      | 0.1             | 0.08          | 0.1           | 0.01          | 0.01             | 0.01      |
| Conductivity        | W/m-K  | 1.75            | 1.75          | 1.75          | 0.9           | 0.9              | 55        |
| Density             | kg/m3  | 2200            | 2400          | 2400          | 1200          | 1000             | 7800      |
| Specific Heat       | J/kg-K | 1000            | 1000          | 1000          | 920           | 920              | 460       |
| Thermal Absorptance |        | 0.9             | 0.9           | 0.9           | 0.9           | 0.9              | 0.9       |
| Solar Absorptance   |        | 0.4             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.7              | 0.3       |
| Visible Absorptance |        | 0.4             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.7              | 0.3       |

A Tabela 11 apresenta as camadas dos componentes construtivos que utilizaremos em nosso modelo. Note que foi previsto um ático entre o telhado e a laje forro (expressa pela câmara de ar) e uma porta de aço vazada (também expressa por uma câmara de ar).

Tabela 11: Camadas dos componentes construtivos a serem utilizadas no modelo

| Piso                               | Parede            | Cobertura                                                                            | Porta                                                                     | Janela      |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------|
| - concreto_piso<br>- ceramica_piso | - concreto_parede | - ceramica_telhado<br>- camara de ar<br>(0,21 m <sup>2</sup> K/W)<br>- concreto_laje | - aco_porta<br>- camara de ar<br>(0,14 m <sup>2</sup> K/W)<br>- aco_porta | - vidro 3mm |

E por que o valor de resistência térmica de cada uma é diferente? Se você leu o Apêndice do Módulo IV, conforme havíamos recomendado, deve se lembrar que a NBR 15.220:2005 apresenta uma tabela de valores para a resistência térmica do ar dependendo do sentido do fluxo de calor, da natureza da superfície da câmara de ar e de sua espessura.

Considerando que no forro o fluxo é descendente, o ático é formado entre o concreto e a cerâmica (superfícies de alta emissividade) e a espessura da câmara é maior que 5 cm, resulta que  $R_{ar} = 0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$ . A porta de aço vazada, por sua vez, possui uma câmara de ar  $< 2 \text{ cm}$ , por isso,  $R_{ar} = 0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$  (em tese, um aço escovado, polido, limpo, novo e brilhante possui baixa emissividade, mas como nosso exemplo não retrata a realidade laboratorial, mas sim o

encontrado na prática, que é poeira, envelhecimento, deterioração, pintura e perda de brilho do material, optamos por também considerá-lo como de alta emissividade).

Com base nestes dados, configuramos o *Material:AirGap*. Para facilitar a identificação, sugerimos utilizar o valor da resistência térmica junto ao nome do objeto (Figura 140).

Figura 140: Configuração do *Material:AirGap* do modelo de uma zona térmica

| Field              | Units  | Obj1        | Obj2        |
|--------------------|--------|-------------|-------------|
| Name               |        | camara 0.21 | camara 0.14 |
| Thermal Resistance | m2-K/W | 0.21        | 0.14        |

A janela, por sua vez, receberá um vidro simples de 3mm. Para configurar este material, tomaremos como base o *DataSet* do próprio *EnergyPlus™*. Para acessar a base de dados a partir do *IDF Editor*, clique em *File* no menu superior e, em seguida, em *WindowGlassMaterials.idf*. Após abrir a biblioteca de vidros, localize o “*CLEAR 3MM*”. Copie o objeto e cole-o na classe do *WindowMaterial:Glazing* do modelo que estamos editando.

Figura 141: Procedimento para localização da biblioteca de vidros do *EnergyPlus™*

The figure shows a sequence of steps in the EnergyPlus IDF Editor. First, the 'File' menu is opened, and 'Open DataSet' is selected. This leads to a file browser showing a list of IDF files, with 'WindowGlassMaterials.idf' highlighted. Finally, the 'WindowMaterial:Glazing' object is shown in the editor, with the 'Name' field set to 'CLEAR 3MM' and the 'Optical Data Type' set to 'SpectralAverage'.

| Field                                                     | Units | Obj1            |
|-----------------------------------------------------------|-------|-----------------|
| Name                                                      |       | CLEAR 3MM       |
| Optical Data Type                                         |       | SpectralAverage |
| Window Glass Spectral Data Set Name                       |       |                 |
| Thickness                                                 | m     | 0.003           |
| Solar Transmittance at Normal Incidence                   |       | 0.837           |
| Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence          |       | 0.075           |
| Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence           |       | 0.075           |
| Visible Transmittance at Normal Incidence                 |       | 0.898           |
| Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence        |       | 0.081           |
| Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence         |       | 0.081           |
| Infrared Transmittance at Normal Incidence                |       | 0               |
| Front Side Infrared Hemispherical Emissivity              |       | 0.84            |
| Back Side Infrared Hemispherical Emissivity               |       | 0.84            |
| Conductivity                                              | W/m-K | 0.9             |
| Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc |       |                 |
| Solar Diffusing                                           |       |                 |
| Young's modulus                                           | Pa    |                 |
| Poisson's ratio                                           |       |                 |
| Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittan      |       |                 |
| Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflec     |       |                 |
| Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflec      |       |                 |

Havendo configurado os materiais, vamos criar os componentes construtivos da zona térmica. Para tanto, abra o *Construction*. Com base na Tabela 11, editaremos cinco objetos (um para piso, um para paredes, um para a cobertura, um para a porta e outro para as janelas).

Lembrando que a “construção” do componente deve acontecer da camada mais externa em direção à camada mais interna da zona térmica. Diante disso:

- O objeto referente ao piso é constituído de duas camadas: a mais externa representa um contrapiso de concreto (material “concreto\_piso”) e a camada mais interna é um piso de cerâmica (material “cerâmica\_piso”);
- O segundo objeto remete a uma parede simplificada de concreto monolítico, expressa por um único material, o qual chamamos de “concreto\_parede”;
- A cobertura é um componente de três camadas: a mais externa é o telhado de cerâmica (“ceramica\_telhado”), intermediada por uma câmara de ar (“camara 0.21”) e, por fim, uma laje forro de concreto (material “concreto\_laje”) na camada mais interna;
- Analogamente, a porta possui três camadas: duas faces são idênticas, portanto, recebem um mesmo material (“aco\_porta”). Entre as camadas, uma câmara de ar forma a parte “oca” da porta (“camara 0.14”);
- O quinto objeto representa uma janela constituída de um único material de vidro simples (“CLEAR 3MM”).

O recorte da Figura 142 resume o exposto.

Figura 142: Objetos do *Construction* representando os componentes construtivos da zona térmica

| Field         | Units | Obj1          | Obj2            | Obj3             | Obj4        | Obj5      |
|---------------|-------|---------------|-----------------|------------------|-------------|-----------|
| Name          |       | piso          | parede          | cobertura        | porta       | janela    |
| Outside Layer |       | concreto_piso | concreto_parede | ceramica_telhado | aco_porta   | CLEAR 3MM |
| Layer 2       |       | ceramica_piso |                 | camara 0.21      | camara 0.14 |           |
| Layer 3       |       |               |                 | concreto_laje    | aco_porta   |           |

O próximo passo é atribuir a cada superfície da zona térmica (opacas e transparentes) seu respectivo componente construtivo.

Para tanto, acesse o *BuildingSurface:Detailed* e preencha o campo *Construction Name* de acordo com o que configuramos na classe do *Construction*.

Logo, a superfície da cobertura recebe agora o componente “cobertura” (que é um objeto composto de três camadas), todas as superfícies de parede recebem a “parede” (de concreto monolítico). A superfície de piso recebe o componente de “piso” (contrapiso + cerâmica).

Figura 143: Ajustando o campo do *Construction Name* do *BuildingSurface:Detailed*

| Field                      | Units | Obj1      | Obj2     | Obj3     | Obj4     | Obj5     | Obj6   |
|----------------------------|-------|-----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Name                       |       | Cobertura | Parede_L | Parede_N | Parede_O | Parede_S | Piso   |
| Surface Type               |       | Roof      | Wall     | Wall     | Wall     | Wall     | Floor  |
| Construction Name          |       | cobertura | parede   | parede   | parede   | parede   | piso   |
| Zone Name                  |       | ZT_1      | ZT_1     | ZT_1     | ZT_1     | ZT_1     | ZT_1   |
| Outside Boundary Condition |       | Outdoors  | Outdoors | Outdoors | Outdoors | Outdoors | Ground |

Entendeu a lógica do programa? Então, faça o mesmo para as superfícies de janelas e porta do *FenestrationSurface:Detailed*.

Figura 144: Ajustando o campo do *Construction Name* do *FenestrationSurface:Detailed*

| Field                 | Units | Obj1     | Obj2     | Obj3     |
|-----------------------|-------|----------|----------|----------|
| Name                  |       | Janela_N | Janela_S | Porta_S  |
| Surface Type          |       | Window   | Window   | Door     |
| Construction Name     |       | janela   | janela   | porta    |
| Building Surface Name |       | Parede_N | Parede_S | Parede_S |

Uma vez que atribuímos os componentes construtivos às superfícies da zona térmica, fechamos mais uma etapa de construção do nosso modelo. Mas ainda falta um detalhe.

Até então, sabemos que o invólucro está submetido às condições climáticas de Campo Grande/MS, certo? Naturalmente, como em qualquer “construção”, a zona térmica deve estar assentada sobre o solo, neste caso, o solo deste município. E o que isso tem a ver?

Ora, se o piso da edificação está em contato com o solo (cada um em uma determinada temperatura), então há transferência de calor entre a zona térmica e o solo. Então, se o ambiente interno encontrar-se em uma temperatura maior que a do solo, pela termodinâmica o ambiente perderá calor. Na situação oposta, a zona térmica ganhará calor para o solo.

Lembra que, no Módulo II, apresentamos algumas informações gerais sobre os dados contidos em um arquivo climático? Dentre estes estava os valores de temperatura do solo. Se você abrir novamente o *.csv* de Campo Grande e analisá-lo, verá que há registros mensais para diferentes profundidades. E por que mensais? Já aprendemos que o solo possui alta capacidade

térmica (diferentemente do ar, por exemplo). Logo, quanto mais profundo, menor é a influência do clima externo e maior é a constância nos valores medidos de temperatura do solo. Devido a sua alta capacidade térmica, as variações de temperatura não são significativas ao longo do ano, de modo que as médias mensais são relativamente suficientes para a simulação computacional.

Pois bem, juntando com o que aprendemos no primeiro módulo: tudo no *EnergyPlus*<sup>TM</sup> é expresso por meio de modelos, então, com o solo, não é diferente. Existem alguns algoritmos para lidar com a transferência de calor entre a edificação e o solo (MAZZAFERRO *et al.*, 2013; MAZZAFERRO, MELO, LAMBERTS, 2015; ELI *et al.*, 2019). Evidentemente, dependendo do modelo escolhido, o impacto deste parâmetro poderá ser maior ou menor nos resultados da simulação.

Para o nosso exemplo, utilizaremos um modelo simplificado em que todas as superfícies (piso) em contato direto com o solo estão sujeitas a uma mesma temperatura mensal, chamado *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*. Para preenchê-lo, é necessário apenas um objeto de doze campos (um para cada valor médio de temperatura registrado em cada mês do ano).

Atualmente, os modelos dinâmicos de transferência de calor tridimensional do programa são muito mais detalhados do que o *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* e, logicamente, requerem um maior número de informações (para alimentá-los, são precisos *inputs* referentes ao tipo de solo em que o edifício está assentado, às propriedades térmicas do solo etc.).

Como este é um material de introdução à simulação, somente as temperaturas do solo do arquivo climático são suficientes ao treinamento básico de iniciantes. Diante disso, localize o *Site:GroundTemperature:BuildingSurface* na *Class List* e crie um novo objeto.

Note que a configuração *default* é de 18°C para os doze campos de meses do ano, algo totalmente incompatível com a realidade de Campo Grande/MS. Preencha os campos do objeto, inserindo (manualmente) as temperaturas do solo do arquivo climático deste município. Neste caso, optamos por utilizar valores aproximados inteiros relativos à camada mais profunda (de 4,0m) do solo, conforme demonstrado na Figura 145.

Como manteremos este parâmetro fixo em todos os modelos de uma zona térmica, “arredondar” as temperaturas do solo com base nos valores reais não impactará nos resultados pós-simulação.

Figura 145: Configurando as temperaturas do solo no *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*

| Field                        | Units | Obj1 |
|------------------------------|-------|------|
| January Ground Temperature   | C     | 25   |
| February Ground Temperature  | C     | 25   |
| March Ground Temperature     | C     | 24   |
| April Ground Temperature     | C     | 24   |
| May Ground Temperature       | C     | 23   |
| June Ground Temperature      | C     | 23   |
| July Ground Temperature      | C     | 23   |
| August Ground Temperature    | C     | 23   |
| September Ground Temperature | C     | 24   |
| October Ground Temperature   | C     | 24   |
| November Ground Temperature  | C     | 25   |
| December Ground Temperature  | C     | 25   |

Com isso, fechamos nosso primeiro modelo de uma zona térmica com base no que aprendemos a configurar até então (superfícies e subsuperfícies com detalhamento de materiais e componentes construtivos) com algumas novidades.

Salve como *Modelo1Z\_01.idf* para manter o nome base do arquivo original (*Modelo1Z*), acrescentando “01” ao final para diferenciá-lo dos próximos arquivos *.idf* de uma zona térmica (conforme nos aprofundarmos no estudo e adicionarmos novos objetos).

Em seguida, simule-o (lembrando de manter uma pasta separada para cada modelo, a fim de facilitar a identificação dos arquivos de saída). Por enquanto, atenha-se apenas a algum eventual erro. Não sendo constatado nenhum, sigamos ao próximo capítulo.

Figura 146: *Run Status* do *Modelo1Z\_01.idf*



## CAPÍTULO NONO

# O COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

---

De acordo com o Anexo 53 da *International Energy Agency – Energy in Buildings and Communities Programme* (IEA-EBC, 2016) o uso de energia em edifícios é influenciado pelos parâmetros de clima, envelope da edificação, sistemas de energia e serviços do edifício, critérios de projeto de interiores, operação e manutenção da edificação e comportamento dos ocupantes.

Dentre estes parâmetros, sobram exemplos de pesquisas que apontam o comportamento do usuário como a principal fonte de incertezas nos resultados de simulação do desempenho termoenergético das edificações (GAETANI, 2019).

Silva e Ghisi (2014), por exemplo, analisaram uma ampla gama de *inputs* de simulação, reunindo-os em dois grandes grupos: (i) parâmetros físicos (quando relativos às propriedades termofísicas dos materiais e componentes construtivos, por exemplo) e (ii) comportamento do usuário (para as variáveis relacionadas aos ocupantes do edifício em ambientes de permanência prolongada e potência média dos equipamentos elétricos). Deste estudo, os autores constataram que as variáveis ligadas ao comportamento do usuário representam a maior fonte de incerteza nos resultados das simulações do desempenho termoenergético do edifício em todas as variáveis dependentes analisadas. E por quê?

Para longe de qualquer reducionismo em um tema tão abrangente, é importante darmos uma explicação simples e didática. Primeiro, em se tratando da vida real, não existe o “usuário ideal”. Na verdade, existem pessoas muito conscientes que evitam desperdícios, isto é, gastos energéticos desnecessários (por questões econômicas, sustentáveis etc.). Disto, você poderia entender como “consciente” o indivíduo que conhece e explora as estratégias bioclimáticas em prol de seu conforto térmico (quando possível sem o acionamento de sistemas artificiais). Que altera suas rotinas a depender da estação do ano. Que faz uso da iluminação natural (quando possível) e apaga as luzes acesas quando não estão sendo utilizadas. Que configura o *set point* do ar-condicionado e que aciona a função *sleep* para cada fase do sono até o total desligamento do aparelho. Enfim, cremos que você entendeu.

Logo, se existe o usuário consciente, naturalmente existirá o oposto, assim chamado o displicente. Ademais, em se tratando de extremos, há o meio termo, a maioria: o usuário normal.

Um usuário displicente pode ser muito danoso ao consumo de energia da edificação. Você já entrou em algum ambiente em que não havia ninguém, mas o ar-condicionado estava ligado (e em uma temperatura bem baixa)? Ou pior, o ar-condicionado estava ligado com as janelas abertas? Pois é, pode ser o edifício “A” de eficiência energética, basta apenas um displicente e o “estrago” está feito. E, infelizmente, muito de nós já vivenciamos esta situação.

Com base no exposto, você se considera um usuário consciente ou displicente? Ou nem lá, nem cá? Percebeu (ainda que empiricamente) o quanto você e suas atitudes influenciam no desempenho termoenergético da edificação?

Fato é que o aumento da presença da tecnologia e dos sistemas AVAC no interior das edificações estreitou ainda mais as interações dos usuários com o ambiente construído. Frente a esta realidade cada vez mais latente, compreender o comportamento dos ocupantes é essencial para avaliar o real impacto dos usuários no desempenho global do edifício (BALVEDI; GHISI; LAMBERTS, 2018).

Não é por acaso que a influência do usuário no consumo de energia tem sido constante alvo de pesquisas de uma série de autores. Karjalainen (2016), por exemplo, verificou que para um mesmo clima e tipo de edifício (de escritórios), o usuário com perfil displicente chega a consumir 55% mais energia do que o usuário consciente. Já Balvedi *et al.* (2018), ao simularem o comportamento de usuários em edificações naturalmente ventiladas, chegaram à conclusão de que, a depender do perfil (consciente, normal ou displicente), as variações superam a ordem dos 340% nos valores de graus-hora de aquecimento (GHA) e chegam a 125% nos graus-hora de resfriamento (GHR) (ambos indicadores de conforto térmico).

Logo, negligenciar a variável “comportamento do usuário” pode acarretar em distorções do real consumo de energia e desempenho térmico do edifício em relação aos valores simulados (HOES *et al.*, 2009). Mas, afinal, o que é este parâmetro de “comportamento do usuário”?



### *Comportamento do usuário*

Em suma, o comportamento do usuário compreende dados de ocupação (ou seja, a quantidade de pessoas e os horários em que frequentam cada ambiente da edificação, por exemplo) e os dados de operação de elementos e sistemas prediais (isto é, como o usuário está operando as janelas, persianas, a iluminação artificial, os sistemas AVAC etc.).

De acordo com Andersen, Fabi e Corgnati (2016), uma predição realista do desempenho de uma edificação, necessariamente, deve incluir modelos que expressam adequadamente as interações entre o usuário e os controles do edifício. Modelos realistas, por sua vez, requerem dados representativos tanto do comportamento do usuário quanto dos equipamentos e sistemas por eles operados. O que nos leva à próxima questão: onde obter esses dados?

Tabela 12: Exemplos de fontes de dados das rotinas de ocupação e operação das cargas internas

|                                         | Fonte                                                  | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parâmetros de equipamentos e iluminação | NBR 16401<br>(ABNT, 2008)                              | <p>A NBR 16.401:2008 (ABNT, 2008) trata do projeto de instalação de sistemas de condicionamento de ar. A parte 1 da normativa apresenta os procedimentos de projeto e o método de cálculo da carga térmica. Dentro deste último tópico, estão incluídos tanto o calor contribuído pela envoltória quanto as fontes internas de calor (pessoas, iluminação, equipamentos e outras fontes).</p> <p>No que tange aos parâmetros de equipamentos elétricos, a NBR 16.401-1:2008, por meio da Tabela C.6, apresenta valores recomendados de densidade de carga de equipamentos para diversos tipos de escritórios, considerando a configuração dos postos de trabalho e o tipo de densidade de carga (dividindo os valores entre leve, médio, médio/alto e alto). Estes dados estão atrelados a uma potência média, cujos valores advêm de estudos em que as condições de uso são bem definidas, conhecidas, medidas e categorizadas, o que pode ser uma vantagem em relação a valores esporádicos de potência nominal.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                         | <i>Handbook of Fundamentals (HoF)</i><br>ASHRAE (2017) | <p>A escolha de uma luminária varia conforme os níveis de iluminância requeridos pelo ambiente, sendo que as atividades que ali serão executadas constituem um dos principais parâmetros levados em consideração num projeto luminotécnico.</p> <p>Nesse sentido, a Tabela 2 do <i>HoF</i> (<i>Table 2 – Lighting Power Densities Using Space-by-Space Method</i>) apresenta alguns valores de densidade de potência de iluminação – DPI (expresso em W/m<sup>2</sup>) para determinados tipos de edificação que comportam atividades específicas (desde salas de computadores, bibliotecas, até ginásios de esportes).</p> <p>Já a Tabela 3 (<i>Table 3 – Lighting Heat Gain Parameters for Typical Operating Conditions</i>) reúne intervalos de valores recomendados de fração radiante para vários tipos de luminárias, possibilitando, assim, o cálculo da parcela visível.</p> <p>Então, na ausência de especificações de projeto (para o DPI) ou do fabricante da luminária (para as parcelas radiativas e visível), os valores tabelados representam um adequado parâmetro de referência para uso em simulação de edifícios.</p> <p>Quanto aos parâmetros de equipamentos, o <i>HoF</i>, por meio da Tabela 11 (<i>Table 11 – Recommended Load Factors for Various Types of Offices</i>) sugere valores de densidade de carga de equipamentos para alguns tipos de escritórios de acordo com o uso e as configurações das estações de trabalho. Já a Tabela 14 (<i>Table 14 – Recommended Radiative / Convective for Internal Heat Gains</i>) sugere valores para as frações radiante e convectiva para alguns equipamentos de escritório.</p> |

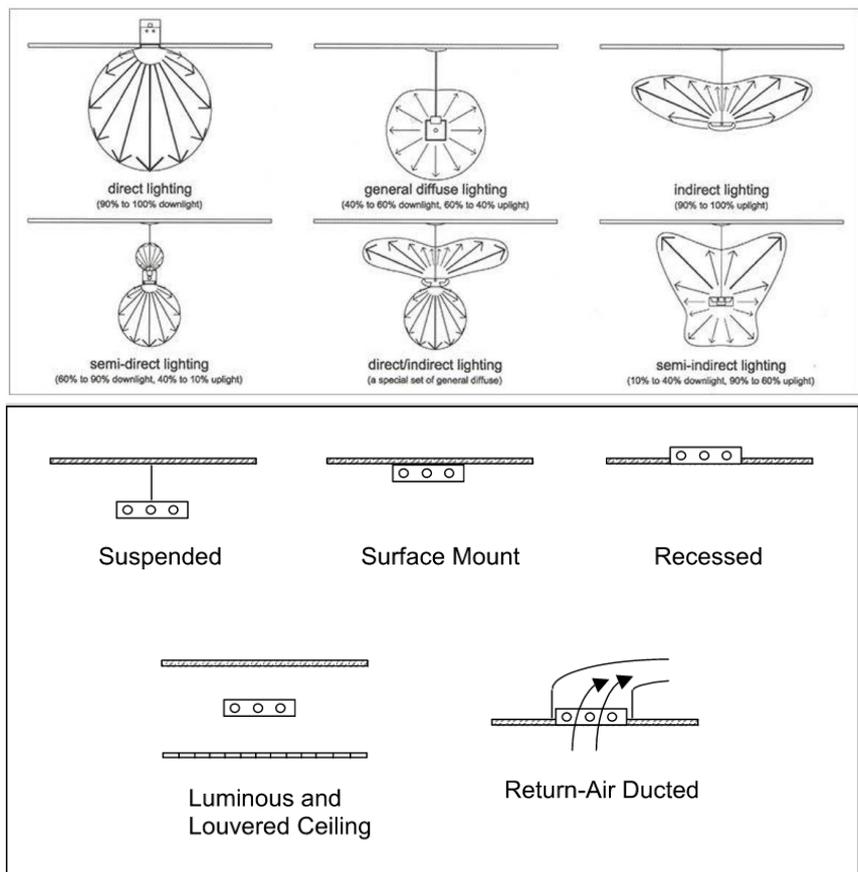
NBR ISO/CIE 8995-1 (2013)

A parte 1 da NBR ISO/CIE 8995:2013 refere-se à iluminação dos ambientes de trabalho, principalmente quanto aos requisitos de projeto luminotécnico. Nesse sentido, a normativa traz recomendações de iluminância (em lux) para o exercício de determinadas atividades dependendo do tipo de ambiente.

Manual de referência do *EnergyPlus*

Em versões mais antigas do manual de uso do programa era possível encontrar algumas figuras que exemplificavam a intensidade luminosa em função do tipo de luminária e disposição no ambiente (se direta, indireta, semi-direta etc.), como mostrado abaixo. Com base nestas diferenciações, o manual sugeria valores de fração radiante e fração visível. As versões mais antigas *Input Output Reference* podem ser localizados no *site* do *EnergyPlus™* ou na página do *big ladder software*. No manual versão 8.3 do programa estes dados podem ser consultados na Tabela 14 (*Table 14*) do *Input Output Reference*.

Figura 147: Exemplos e tipos de disposição de luminárias em ambientes



Fonte: DOE (2014)

A versão atual do *Input Output Reference* (DOE, 2020b) não traz mais as figuras de exemplo constantes nas versões antigas. Ainda assim, é possível encontrar valores aproximados de fração de retorno do ar, fração radiante e fração visível para diferentes configurações de luminárias. Estes dados podem ser consultados na Tabela 1.28 do referido manual (*Table 1.28 – Approximate values of Return Air Fraction, Fraction Radiant and Fraction Visible for overhead fluorescent lighting for different luminaire configurations*).

|                               |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <p>PPH BRASIL (ELETROBRAS-PROCEL, 2019)</p> | <p>O PPH (Pesquisa de Posse e Hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial) é outra importante fonte de dados. O PPH reúne diversas tabelas para todas as regiões do país (Norte, Sul, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste) contendo informações sobre as características de consumo de acordo com: (i) o perfil dos usuários (incluindo fatores como a classe social a que pertencem, características do edifício em que habitam etc.), (ii) os equipamentos elétricos e iluminação (tipo, uso por cômodos, potência etc.) e de acordo com (iii) o uso horário e mensal ao longo do ano, frequência de acionamento etc.</p> <p>A partir da página 31 é possível encontrar dados de consumo médio por domicílio e por meses do ano. A partir da página 36 começam os dados de posse e hábitos de uso de iluminação por cômodo nas residências brasileiras, a potência e o tipo de lâmpada. O PPH é muito bom para compreender as “rotinas” dos usuários de cada região do país. Este, aliás, é só um resumo para orientá-lo na busca, há uma série de tabelas contendo dados muito interessantes para uso em simulação do desempenho de edifícios.</p> <p>Por exemplo, o relatório é rico em informações sobre os materiais e componentes construtivos das edificações nacionais e sua predominância por região, as cores com que são pintadas as edificações, os tipos de aberturas, entre outros. Vale a pena conferir!</p> |
|                               | <p>RTQ-R (BRASIL, 2012)</p>                 | <p>Na página 71 do RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais) estão disponíveis as Tabelas 3.41 e 3.42, as quais apresentam dados dos padrões de uso da iluminação para dias de semana e aos finais de semana e da densidade de potência instalada de iluminação para salas e dormitórios. Já na página 72, item “e”, encontra-se uma tabela com uma única linha contendo um valor médio de densidade de potência de equipamentos para um ambiente residencial caracterizado como “sala”.</p> <p>Cabe ressaltar que muito dos dados contidos em documentos de referência, como normativas e manuais técnicos, provém de trabalhos de pesquisa antecessores (artigos científicos, dissertações, teses). Uma série de pesquisadores investigam o uso de iluminação e equipamentos para diferentes tipologias e perfis de usuário. Basta procurar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Parâmetros de sistema de AVAC | <p>NBR 16401 (ABNT, 2008)</p>               | <p>Conforme pontuamos anteriormente, a NBR 16.401:2008 traz recomendações para o projeto de instalação de sistemas de condicionamento de ar.</p> <p>A Tabela 1 da parte 3 da norma apresenta valores de vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação, considerando três níveis possíveis de serem adotados: mínimo de vazão de ar exterior para ventilação, intermediário e um terceiro nível que, segundo o documento, parte de evidências que apontam uma redução de reclamações e manifestações alérgicas para aquelas condições de vazão de ar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                               | <p>PPH BRASIL (ELETROBRAS-PROCEL, 2019)</p> | <p>A partir da página 70 do PPH é possível encontrar dados sobre a posse e hábitos de uso de condicionadores de ar nas residências brasileiras, por região, por classe econômica, por especificação de produto, por horas do dia e meses do ano, por <i>setpoint</i> de temperatura, entre outros parâmetros que podem ser aproveitados em simulação computacional do uso e operação destes sistemas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                                           |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parâmetros de ocupação e dados do usuário | RTQ-R<br>(BRASIL, 2012)                                    | <p>Na página 68 do RTQ-R, item “c”, encontram-se informações sobre os padrões de ocupação em ambientes de permanência prolongada (dormitórios, sala) de edificações residenciais, variando o padrão de ocupação para os dias de semana e finais de semana, conforme os horários de ocupação (percentual de pessoas ao longo do dia) em cada cômodo, apresentados na Tabela 3.39.</p> <p>Na sequência, o RTQ-R traz valores de taxa metabólica referente ao exercício de algumas poucas atividades (dormir, assistir TV) na Tabela 3.40 e os padrões de uso de iluminação durante a semana e aos finais de semana na Tabela 3.41.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                           | NBR 16401-3<br>(ABNT, 2008)                                | <p>Na página 5 da NBR 16.401:2008 é possível encontrar uma tabela de valores de densidade de ocupação para alguns tipos de edificações (comerciais, escritórios, públicos etc.) a cada 100m<sup>2</sup> de área. Apesar de não ser própria para este fim, pode ser bastante útil como referência de valores caso não tenhamos dado nenhum.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                           | PPH BRASIL<br>(ELETROBRAS-<br>PROCEL, 2019)                | <p>Sabemos, dos tópicos anteriores, que o PPH categoriza em tabelas os padrões de uso de equipamentos elétricos, iluminação e condicionadores de ar nas casas dos brasileiros. Diante disso, o relatório representa uma base de dados consistente em se tratando da definição de parâmetros de ocupação dos usuários e das rotinas de operação das cargas internas.</p> <p>Como o manual reúne muitas tabelas para uma série de parâmetros e para cada região do território nacional, torna-se inviável citá-las uma a uma. Diante disso, considere esta citação para recorrer à fonte original referenciada no final deste módulo.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                           | <i>Handbook of<br/>Fundamentals (HoF)</i><br>ASHRAE (2017) | <p>A Tabela 1.20 do <i>HoF</i> apresenta algumas atividades desenvolvidas no interior das edificações (dormir, ler, escrever, cozinhar etc.) e os correspondentes níveis de metabolismo em: (i) W/pessoa (isto é, quantos W um ser humano emite ao realizar aquela atividade), (ii) em W/m<sup>2</sup> de área de pele (considerando que uma pessoa possui, em média, 1,8m<sup>2</sup> de pele) ou (iii) em <i>met</i> (unidade de conforto térmico).</p> <p>A Tabela 1 do <i>HoF</i> também apresenta alguns níveis de atividades e a quantidade de calor emitido pela pessoa ao desempenhá-la, mas com uma diferença: neste caso, há duas colunas, uma representando homens adultos e noutra um ajuste para a quantidade de homens e mulheres em relação ao total de pessoas dentro de um ambiente. Além disto, a tabela 1 conta com valores de calor sensível incorporado no ambiente e calor latente (que se refere à evaporação, respiração e transpiração) emitidos em cada atividade, incluindo ainda a parcela do calor que é radiante (em termos percentuais) a depender da velocidade do ar. Com base na fração radiante, pode-se calcular a parcela convectiva.</p> <p>A Tabela 14 do <i>HoF</i> também mostra valores de frações radiativas e convectivas para determinadas ganhos internos, tais como: ocupação típica de escritórios, equipamentos, iluminação, ganhos de calor por condução através das aberturas etc.</p> |

|  |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Normativas internacionais e o manual <i>Input Output Reference</i> do <i>EnergyPlus</i><sup>TM</sup></p> | <p>Novamente ressaltamos a importância de consulta de trabalhos científicos (como artigos, dissertações, teses) que investigam parâmetros de ocupação e dos tipos de atividades desenvolvidas pelos usuários.</p> <p>Tendo em vista que as normas técnicas – tanto nacionais quanto internacionais – também bebem nestas fontes, destacamos então a ISO 7730: 2005 e a ASHRAE <i>Standard</i> 90.1: 2019, as quais possuem dados sólidos de referência para uso em simulação computacional de edificações.</p> <p>Ademais, o manual de referência do <i>EnergyPlus</i><sup>TM</sup> (DOE, 2020b) apresenta uma tabela de valores (Tabela 1.25) que correlaciona as taxas metabólicas de acordo com as atividades realizadas pelo usuário.</p> |
|  | <p>Outras fontes de dados</p>                                                                               | <p>Conforme citado, muito dos dados contidos em normativas e manuais técnicos provém de pesquisas científicas. Então, como adendo para aqueles que desejam inteirar-se mais sobre o comportamento dos usuários e seu papel na simulação computacional de edifícios, recomendamos a leitura das obras de Karjalainen (2016), Balvedi <i>et al.</i> (2018), Gaetani (2019) e Carlucci <i>et al.</i> (2020), entre outros disponíveis na <i>internet</i>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Recorrer aos valores recomendados em normativas fornece argumentos robustos para a definição de um parâmetro de entrada, em especial quando não se dispõe de dados específicos condizentes com o que se deseja simular. Ainda assim, sempre que possível, deve-se primar pelas informações que representam a realidade de ocupação e atividades desenvolvidas em um determinado ambiente e do uso e operação de seus sistemas.

Nesse sentido, destacamos a consulta das especificações disponibilizadas em catálogos de produtos ou fornecidas diretamente pelo fabricante, no caso, por exemplo, dos aparelhos de ar-condicionado, das luminárias, dos equipamentos elétricos, bem como da medição *in loco* da frequência de uso das cargas internas, das potências instaladas, do comportamento dos usuários, da ocupação e das atividades por eles desempenhada.

E como expressar o comportamento do usuário no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>?

## CAPÍTULO DÉCIMO

# AS ROTINAS DE OPERAÇÃO NO *ENERGYPLUS*<sup>TM</sup>

---

Para representar a operação da edificação e de seus sistemas, o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> utiliza os *schedules*, isto é, objetos em que são configurados padrões de uso dos equipamentos elétricos, iluminação, ocupação de pessoas e demais elementos de ganhos internos de calor. Em outras palavras, os *schedules* servem para “controlar” os objetos que demandam uma “rotina” de uso. Rotina?

A ideia do termo “rotina” é muito apropriada e possivelmente a mesma que você já tem em sua mente. Rotina é algo que fazemos cotidianamente.

Lembra-se do edifício de escritórios da Figura 78? Imagine que durante os dias úteis, cada sala fica ocupada por trabalhadores que ali desempenham suas atividades. Estas atividades são realizadas em determinados períodos do dia, por exemplo, das 07:00h da manhã às 11:00h, seguido da pausa para o almoço com retorno às 13:00h e término do expediente às 17:00h. Os trabalhadores, então, fecham as janelas ou desligam o ar-condicionado, deixam equipamentos elétricos em *stand-by*, apagam as luzes e retornam às suas casas. No dia seguinte, tudo se repete. Aos finais de semana e feriados, os escritórios ficam vazios e inoperantes, exceto, talvez, pelas pequenas luzes vermelhas do *stand-by* aguardando pela próxima segunda-feira. Esta é a rotina do escritório.

Perceba, então, que a rotina de cada sala que compõe o edifício depende da rotina dos ocupantes e do modo como eles interagem com os sistemas disponíveis no escritório. Em outras palavras, cada tipo de carga interna possui uma rotina que representa a sua operação, ou seja, o uso de iluminação tem sua própria rotina, a presença de pessoas segue sua própria rotina, o uso de equipamentos tem a sua própria rotina e assim por diante. Naturalmente, essa rotina pode ser única para cada ambiente (zona térmica) ou comum a todos os ambientes da edificação. Em residências, por exemplo, a “rotina” do dormitório é diferente da “rotina” da sala, enquanto que em escritórios é mais fácil identificar padrões de comportamento ambiente por ambiente.

Em face do exposto, para simular o “impacto” da presença de pessoas na edificação e de suas ações (por exemplo, no consumo de energia), é necessário “detalhar” ao programa tanto os dados do usuário quanto do seu comportamento (operação dos sistemas, das aberturas etc.),

de acordo com o que ocorre em cada período de tempo (até completar um ano) e em cada zona térmica da edificação.

Evidentemente, cada tipo de carga interna demanda um conjunto de dados específicos (potência instalada dos equipamentos elétricos, limites de temperatura de operação, atividades dos ocupantes etc.), os quais também devem ser informados ao programa. Mas este é assunto futuro. Por hora, nos centraremos em compreender a “ideia” para configuração e uso das rotinas no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. E, para tal, nada melhor do que a visualização de alguns exemplos.

## SCHEDULE TYPE LIMITS

Antes de configurar os *schedules* de operação de cada tipo de carga, é preciso “validá-los”. Para tanto, o usuário dispõe dos objetos da classe *ScheduleTypeLimits*.

Esses objetos definem os limites inferior e superior (se inserido), pelo tipo de número (se contínuo ou discreto) e de unidade, funcionando como um “delimitador” de outros objetos. Normalmente, são definidos apenas uma vez e podem ser reaproveitados em outros arquivos *.idf*s. De um modo geral, os objetos abaixo são suficientes para qualquer modelo:

Figura 148: Exemplo de objetos da classe *ScheduleTypeLimits* visto a partir do *IDF Editor*

| Field             | Units  | Obj1       | Obj2       | Obj3       | Obj4        | Obj5     |
|-------------------|--------|------------|------------|------------|-------------|----------|
| Name              |        | Positive   | Any        | Fraction   | Temperature | On/Off   |
| Lower Limit Value | varies | 0          |            | 0          | -40         | 0        |
| Upper Limit Value | varies |            |            | 1          | 200         | 1        |
| Numeric Type      |        | Continuous | Continuous | Continuous | Continuous  | Discrete |
| Unit Type         |        |            |            |            | Temperature |          |

É recomendável nomear os objetos de modo simples e de acordo com sua função, a fim de facilitar sua posterior identificação. Por exemplo, *Positive* remete a números exclusivamente positivos, *Any* a qualquer número, *Fraction* a valores fracionados, *Temperature* à temperatura e *On/Off* ao “liga/desliga”. E como o programa entende que, no caso do *Any* admite-se qualquer valor, enquanto que para o *On/Off* existem apenas duas possibilidades (liga OU desliga)?

Simples! Com base no tipo de variável com que se está lidando e nos valores limites do intervalo. No caso do *On/Off*, informamos ao programa que as variáveis são discretas (*Numeric Type = Discrete*), sendo 0 para o limite inferior e 1 para o superior. Isso significa que apenas

dois valores serão admitidos: 0 (quando desligado) ou 1 (quando ligado). O *Any*, por sua vez, é do tipo contínuo e não possui qualquer intervalo definido, podendo assumir qualquer valor.

E o *Fraction*? Também é contínuo, mas limitado entre zero e um. Como veremos nos roteiros subsequentes, muitos dos *schedules* de operação precisam de um objeto com valores limitados. Neste caso, o *Fraction* admite qualquer valor situado entre 0 e 1.

Já o objeto *Temperature* poderia estar enquadrado dentro do *Any*. Apesar disso, convém criar alguns *schedules* próprios (temperatura, nível de atividade etc.) para uso em classes de objetos específicas, quando necessário. Por isso, o campo do *unit type* foi preenchido como “*Temperature*”, indicando ao *EnergyPlus*<sup>TM</sup> que este objeto possui a unidade de medida padrão do *software*. Há algumas opções para o campo *unit type*:

|                               |
|-------------------------------|
| <i>Dimensionless</i>          |
| <i>Temperature</i>            |
| <i>DeltaTemperature</i>       |
| <i>PrecipitationRate</i>      |
| <i>Angle</i>                  |
| <i>Convection Coefficient</i> |
| <i>Activity Level</i>         |
| <i>Velocity</i>               |
| <i>Capacity</i>               |
| <i>Power</i>                  |
| <i>Availability</i>           |
| <i>Percent</i>                |
| <i>Control</i>                |
| <i>Mode</i>                   |

## O SCHEDULE COMPACT

A maneira mais simples e rápida de definir um *schedule* no *EnergyPlus*<sup>TM</sup> é por meio do *Schedule:Compact*. Nesta classe, são configurados conjuntos de textos para que o programa computacional possa “entender” a rotina que lhe está sendo descrita.

Os objetos do *Schedule:Compact* contam com milhares de campos disponíveis para preenchimento. A lógica é a seguinte: primeiro, dá-se um nome (*Name*) específico para a rotina. Em seguida, o usuário deve escolher na lista suspensa do *Schedule Type Limits Name* um dos

objetos definidos no *ScheduleTypeLimits*. Então, inicia-se o processo de definição (manual) dos períodos de uso e fatores de utilização de cada objeto.

Para tanto, é necessário o conhecimento de algumas notações definidas pelo programa *EnergyPlus*<sup>TM</sup>:

|                                                  |
|--------------------------------------------------|
| <i>Through</i> : usado para definir datas        |
| <i>For</i> : usado para definir os tipos de dias |
| <i>Until</i> : usado para definir as horas       |

Estas são as principais notações de textos. Escreva-as com atenção, a fim de evitar erros na simulação. A Figura 149 apresenta um exemplo de um objeto do *Schedule:Compact*, o qual refere-se à configuração de uma rotina que controla o uso dos equipamentos elétricos. Vamos interpretá-lo:

Figura 149: Exemplo de objeto da classe *Schedule:Compact* visto a partir do *IDF Editor*

O *Obj1* foi nomeado como “sch\_equipamentos”.

Dentre as opções criadas no *ScheduleTypeLimits*, escolheu-se na lista suspensa a *Fraction*, significando que os valores do objeto podem ser fracionados, desde que entre 0 e 1.

Abaixo, tem-se a expressão *Through: 12/31* (padrão norte-americano de datas), significando que a configuração dos campos seguintes valerá para o ano todo.

Na sequência, *For: WeekDays* denota que esta rotina vale para os dias de semana.

Depois, os campos (*Until: 07:00*) e (0.1), indicam que até às 07:00h da manhã, registra-se uma fração de uso igual a 0.1 (10%), em seguida o *Until: 11:00* recebe um fator 1.0, representando que a partir das 07:00h até às 11:00h, o uso equivale a 100%, e assim por diante, até completar as 24h do dia (*Until: 24:00*).

Para os finais de semana (*For: WeekEnds*) a configuração muda. Neste período, registra-se apenas 10% (0.1) de uso durante todo o dia.

Por fim, *For: AllOtherDays* (todos os outros dias) fecha as rotinas de uso de equipamentos, repetindo a configuração utilizada para os dias de semana.

| Field                     | Units  | Obj1              |
|---------------------------|--------|-------------------|
| Name                      |        | sch_equipamentos  |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction          |
| Field 1                   | varies | Through: 12/31    |
| Field 2                   | varies | For: WeekDays     |
| Field 3                   | varies | Until: 07:00      |
| Field 4                   | varies | 0.1               |
| Field 5                   | varies | Until: 11:00      |
| Field 6                   | varies | 1                 |
| Field 7                   | varies | Until: 13:00      |
| Field 8                   | varies | 0.4               |
| Field 9                   | varies | Until: 17:00      |
| Field 10                  | varies | 1                 |
| Field 11                  | varies | Until: 24:00      |
| Field 12                  | varies | 0.1               |
| Field 13                  | varies | For: Weekends     |
| Field 14                  | varies | Until: 24:00      |
| Field 15                  | varies | 0.1               |
| Field 16                  | varies | For: AllOtherDays |
| Field 17                  | varies | Until: 07:00      |
| Field 18                  | varies | 0.1               |
| Field 19                  | varies | Until: 11:00      |
| Field 20                  | varies | 1                 |
| Field 21                  | varies | Until: 13:00      |
| Field 22                  | varies | 0.4               |
| Field 23                  | varies | Until: 17:00      |
| Field 24                  | varies | 1                 |
| Field 25                  | varies | Until: 24:00      |
| Field 26                  | varies | 0.1               |



**ATENÇÃO!!!** Por enquanto, o “fator de utilização” representa apenas um número (ou a fração deste). No exemplo acima, seria errado dizer que até às 07:00h da manhã, 10% dos equipamentos estão sendo utilizados. Não é da quantidade de equipamentos que se trata, mas do controle do uso! Na verdade, o fator só tem “sentido” quando em função de um indicador específico. Por exemplo, se este indicador for a carga instalada (ou seja, a soma das potências de todos os equipamentos elétricos de uma sala), então temos que, até às 07:00h, o uso de equipamentos representa 10% do total de carga instalada neste ambiente.

Mas, espere um momento, se definimos o funcionamento do *schedule* tanto para os dias da semana quanto para os finais de semana, por que a necessidade do termo *For: AllOtherDays* no objeto? Que outros dias são estes?

Ora, o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> comporta uma série de “tipos” de dia, desde os dias nominiais da semana (*Sunday, Monday, ..., Saturday*), feriados (*Holidays*), dias de dimensionamento para verão (*SummerDesignDay*) e inverno (*WinterDesignDay*), bem como dias genéricos (como o *AllDays* para estabelecer uma configuração válida para todos os tipos de dias) e personalizáveis (como os *CustomDay*'s 1 e 2).

Então, ao utilizarmos a expressão *For: AllOtherDays*, informamos ao programa que escolhemos alguns tipos de dia em específico (dias de semana e finais de semana), e atribuímos um padrão para os demais, evitando configurá-los um por um.

Frente ao exposto, entenda duas coisas. Primeiro, que as rotinas podem ser detalhadas por datas específicas do ano, desde que complete o ano todo (até 12/31), pelos tipos de dia da semana, desde que “feche” os tipos de dia e para cada hora do dia, desde que “feche” 24h. Em segundo lugar, independentemente do nível de detalhamento, deve-se seguir à risca as notações utilizadas pelo *EnergyPlus*<sup>TM</sup> a fim de evitar erros na simulação.

## CLASSES ALTERNATIVAS PARA CONFIGURAR ROTINAS

O *EnergyPlus*<sup>TM</sup> fornece outras alternativas para configuração de *schedules*. Enquanto que no *ScheduleCompact* configura-se todos os períodos (horas, dias, semanas, datas do ano) de uma só vez, há opções para detalhamento de *schedules* de modo particionado (uma classe exclusiva para as horas do dia, outra para os dias da semana, outra para as semanas do ano).

Iniciemos pelo *Schedule:Day:Hourly*, em que são definidas rotinas diárias de operação por hora do dia, conforme exemplificado na Figura 150.

Figura 150: Exemplo de objetos da classe *Schedule:Day:Hourly* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                     | Units  | Obj1      | Obj2       | Obj3              | Obj4                 |
|---------------------------|--------|-----------|------------|-------------------|----------------------|
| Name                      |        | hourly on | hourly off | hourly light week | hourly light weekend |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction  | Fraction   | Fraction          | Fraction             |
| Hour 1                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 2                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 3                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 4                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 5                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 6                    | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 7                    | varies | 1         | 0          | 1                 | 1                    |
| Hour 8                    | varies | 1         | 0          | 1                 | 1                    |
| Hour 9                    | varies | 1         | 0          | 1                 | 1                    |
| Hour 10                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 1                    |
| Hour 11                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 1                    |
| Hour 12                   | varies | 1         | 0          | 0.5               | 0.5                  |
| Hour 13                   | varies | 1         | 0          | 0.5               | 0.5                  |
| Hour 14                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0.5                  |
| Hour 15                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0                    |
| Hour 16                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0                    |
| Hour 17                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0                    |
| Hour 18                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0                    |
| Hour 19                   | varies | 1         | 0          | 1                 | 0                    |
| Hour 20                   | varies | 1         | 0          | 0.5               | 0                    |
| Hour 21                   | varies | 1         | 0          | 0.5               | 0                    |
| Hour 22                   | varies | 1         | 0          | 0.5               | 0                    |
| Hour 23                   | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |
| Hour 24                   | varies | 1         | 0          | 0                 | 0                    |

Os dois primeiros campos são configurados de modo análogo ao explicado no exemplo do *Schedule:Compact*. Depois, o usuário dispõe de 24 campos para o preenchimento das frações a serem obedecidas em cada hora do dia.

Os objetos 1 (*hourly on*) e 2 (*hourly off*) representam um sistema de iluminação “ligado” o dia todo e completamente “desligado” o dia todo, respectivamente. O *Obj3* (*hourly light week*) representa o uso de iluminação durante os dias da semana, enquanto que o *hourly light weekend* indica o uso da iluminação aos finais de semana (lembre-se, os fatores de uso atribuídos a cada horário atuam em função de algum indicador que representa o ápice do uso do sistema).

Com base nos objetos criados no *Schedule:Day:Hourly*, define-se as rotinas semanais de operação na classe do *Schedule:Week:Daily*, conforme mostra a Figura 151.

Figura 151: Exemplo de objetos da classe *Schedule:Week:Daily* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                             | Units | Obj1                 | Obj2              |
|-----------------------------------|-------|----------------------|-------------------|
| Name                              |       | week light normal    | week light ferias |
| Sunday Schedule:Day Name          |       | hourly off           | hourly off        |
| Monday Schedule:Day Name          |       | hourly light week    | hourly off        |
| Tuesday Schedule:Day Name         |       | hourly light week    | hourly off        |
| Wednesday Schedule:Day Name       |       | hourly light week    | hourly off        |
| Thursday Schedule:Day Name        |       | hourly light week    | hourly off        |
| Friday Schedule:Day Name          |       | hourly light week    | hourly off        |
| Saturday Schedule:Day Name        |       | hourly light weekend | hourly off        |
| Holiday Schedule:Day Name         |       | hourly light week    | hourly off        |
| SummerDesignDay Schedule:Day Name |       | hourly light week    | hourly off        |
| WinterDesignDay Schedule:Day Name |       | hourly light week    | hourly off        |
| CustomDay1 Schedule:Day Name      |       | hourly light week    | hourly off        |
| CustomDay2 Schedule:Day Name      |       | hourly light week    | hourly off        |

A ideia é atribuir uma rotina de operação para cada “tipo de dia” do *EnergyPlus™*. Note que na semana de férias (*week light férias*), o sistema de iluminação permanece constantemente desligado (*hourly off*). Em contrapartida, em uma semana convencional (*week light normal*), a iluminação permanece desligada apenas aos domingos, funcionando de segunda à sexta-feira conforme a rotina do *hourly light week* e, aos sábados, conforme o *hourly light weekend*.

Definidas as *schedules* das horas do dia e dos dias da semana, resta criar uma rotina de operação para as semanas do ano. Isto pode ser feito no *Schedule:Year*, uma classe de objetos que comporta até 52 semanas que expressam a rotina anual de operação.

Para tanto, seleciona-se os intervalos de duração e as rotinas semanais criadas na classe *Schedule:Week:Daily*. Observe o exemplo da Figura 152.

Figura 152: Exemplo de objetos da classe *Schedule:Year* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                     | Units | Obj1              |
|---------------------------|-------|-------------------|
| Name                      |       | sch_light         |
| Schedule Type Limits Name |       | Fraction          |
| Schedule:Week Name 1      |       | week light normal |
| Start Month 1             |       | 1                 |
| Start Day 1               |       | 1                 |
| End Month 1               |       | 6                 |
| End Day 1                 |       | 30                |
| Schedule:Week Name 2      |       | week light ferias |
| Start Month 2             |       | 7                 |
| Start Day 2               |       | 1                 |
| End Month 2               |       | 7                 |
| End Day 2                 |       | 14                |
| Schedule:Week Name 3      |       | week light normal |
| Start Month 3             |       | 7                 |
| Start Day 3               |       | 15                |
| End Month 3               |       | 12                |
| End Day 3                 |       | 31                |

Do primeiro dia do mês de Janeiro (campos *Start Month 1* = 1; *Start Day 1* = 1, seguindo o padrão norte-americano de data) até o final de Junho (campos *End Month 1* = 6; *End Day 1* = 30, ou seja, 30/06) a iluminação é operada nos moldes da rotina *week light normal*. De 01/07 a 14/07 (período de férias) a iluminação fica totalmente desligada (lembra que o configuramos como *hourly off* para todas as horas do dia durante as semanas de férias?). A partir de 15/07, retoma-se à rotina normal *week light normal* até o findar do ano (31/12).

E então, qual das duas alternativas achou mais fácil? Informar tudo de uma só vez no *Compact* ou ir passo a passo (horas do dia, dias da semana, semanas do ano)? Não se precipite em responder. É verdade que, em nossos exemplos, o modo “aparentemente” simples e rápido do *Compact* pode induzir-nos a escolhê-lo. Contudo, imagine que *schedules* demasiadamente detalhados podem representar um trabalho minucioso (e muito cansativo) se feito no *Compact*. Então, a depender do caso, uma ou outra opção pode ser mais vantajosa ao simulador.

## OUTRAS CLASSES DE SCHEDULES

Cabe ainda ressaltar duas classes de objetos: o *Schedule:Constant* que, como o próprio nome sugere, remete a um valor que será utilizado em todas as horas do dia e todos os dias do ano; e o *Schedule:File*, onde define-se um arquivo externo que contém dados numéricos para as rotinas (até 8.760h de dados).

As Figuras 153 e 154 apresentam exemplos de objetos destas duas classes.

Figura 153: Objetos de exemplo do *Schedule:Constant*

| Field                     | Units  | Obj1      | Obj2       |
|---------------------------|--------|-----------|------------|
| Name                      |        | Always On | Always Off |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction  | Fraction   |
| Hourly Value              | varies | 1         | 0          |

Neste caso, o *Obj1* significa algo “sempre ligado” e o *Obj2* “sempre desligado” durante o ano inteiro. Esta classe é muito prática quando são necessários objetos de valor único.

Figura 154: Objeto do *Schedule:File* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                     | Units | Obj1                   |
|---------------------------|-------|------------------------|
| Name                      |       | Sch_file1              |
| Schedule Type Limits Name |       | Fraction               |
| File Name                 |       | c:\schedules\file1.csv |
| Column Number             |       | 1                      |
| Rows to Skip at Top       |       | 0                      |
| Number of Hours of Data   |       | 8760                   |
| Column Separator          |       | Comma                  |
| Interpolate to Timestep   |       | No                     |
| Minutes per Item          |       | 60                     |

Já neste caso, o *Sch\_file1* representa um objeto que funciona com base nas configurações horárias de rotina contidas em um arquivo externo (que pode ser de extensão *.csv*, *.txt* etc.). O caminho (local em que o arquivo se encontra no computador) é inserido no campo *File Name*. Além disso, devem ser informados em qual coluna está o *schedule* e quantas linhas é preciso “pular” (caso haja algum título antes dos dados de interesse), bem como a quantidade de horas de dados, o tabulador (se é uma vírgula, um espaço etc.) e quantos minutos por item conforme os dados contidos no arquivo externo de entrada.

## CAPÍTULO DÉCIMO PRIMEIRO

### AS CARGAS INTERNAS NO *ENERGYPLUS™*

Observe os seguintes objetos de *schedules*.

Figura 155: Objetos de rotinas de ocupação e operação configurados no *Schedule:Compact*

| Field                     | Units  | Obj1              | Obj2              | Obj3              | Obj4              |
|---------------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Name</b>               |        | Sch People 1      | Activity People 1 | Sch Lights 1      | Sch Equipment 1   |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction          | Positive          | Fraction          | Fraction          |
| Field 1                   | varies | Through: 12/31    | Through: 12/31    | Through: 12/31    | Through: 12/31    |
| Field 2                   | varies | For: WeekDays     | For: AllDays      | For: WeekDays     | For: WeekDays     |
| Field 3                   | varies | Until: 07:00      | Until: 24:00      | Until: 07:00      | Until: 07:00      |
| Field 4                   | varies | 0                 | 105               | 0                 | 0.1               |
| Field 5                   | varies | Until: 17:00      |                   | Until: 17:00      | Until: 17:00      |
| Field 6                   | varies | 1                 |                   | 1                 | 1                 |
| Field 7                   | varies | Until: 24:00      |                   | Until: 24:00      | Until: 24:00      |
| Field 8                   | varies | 0                 |                   | 0                 | 0.1               |
| Field 9                   | varies | For: Weekends     |                   | For: Weekends     | For: Weekends     |
| Field 10                  | varies | Until: 07:00      |                   | Until: 07:00      | Until: 07:00      |
| Field 11                  | varies | 0                 |                   | 0                 | 0.1               |
| Field 12                  | varies | Until: 12:00      |                   | Until: 12:00      | Until: 12:00      |
| Field 13                  | varies | 1                 |                   | 1                 | 1                 |
| Field 14                  | varies | Until: 24:00      |                   | Until: 24:00      | Until: 24:00      |
| Field 15                  | varies | 0                 |                   | 0                 | 0.1               |
| Field 16                  | varies | For: AllOtherDays |                   | For: AllOtherDays | For: AllOtherDays |
| Field 17                  | varies | Until: 24:00      |                   | Until: 24:00      | Until: 24:00      |
| Field 18                  | varies | 0                 |                   | 0                 | 0                 |

O que sabemos sobre eles? Até então, que se tratam de rotinas de operação configuradas no *Schedule:Compact*, com os fatores de ocupação e uso definidos para cada período do ano e para cada tipo de carga interna. Os objetos de ocupação, iluminação e equipamentos são do tipo *Fraction* (isto é, valores contínuos limitados entre 0 e 1), enquanto que o *Activity People1* é do tipo *Positive* (ou seja, aceita valores a partir de 0, contínuos e sem limite superior). Este objeto, aliás, poderia ter sido criado diretamente na classe do *Schedule:Constant* pelo modo como está configurado, não é mesmo?

Muito bem. Uma vez que ditamos as “regras” do comportamento do usuário, vamos, então, aprender onde e como aplicar estes objetos! Começemos pela ocupação de pessoas.

## PEOPLE

O *People* está localizado no grupo *Internal Gains*, junto de outras classes de objetos relacionadas aos ganhos internos de calor (*ElectricEquipment*, *Lights*, entre outras).

A Figura 156 mostra um exemplar de objeto desta classe. Optamos por nomeá-lo como “Ocupacao\_ZT\_1”, justamente para associá-lo à zona térmica ao qual pertence, selecionada em *Zone or ZoneList Name*.

Figura 156: Objeto da classe *People* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                                                | Units     | Obj1              |
|------------------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Name                                                 |           | Ocupacao_ZT_1     |
| Zone or ZoneList Name                                |           | ZT_1              |
| Number of People Schedule Name                       |           | Sch People 1      |
| Number of People Calculation Method                  |           | People            |
| Number of People                                     |           | 6                 |
| People per Zone Floor Area                           | person/m2 |                   |
| Zone Floor Area per Person                           | m2/person |                   |
| Fraction Radiant                                     |           | 0.3               |
| Sensible Heat Fraction                               |           | autocalculate     |
| Activity Level Schedule Name                         |           | Activity People 1 |
| Carbon Dioxide Generation Rate                       | m3/s-W    | 0.0000000382      |
| Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings                    |           | No                |
| Mean Radiant Temperature Calculation Type            |           | ZoneAveraged      |
| Surface Name/Angle Factor List Name                  |           |                   |
| Work Efficiency Schedule Name                        |           |                   |
| Clothing Insulation Calculation Method               |           |                   |
| Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name |           |                   |
| Clothing Insulation Schedule Name                    |           |                   |
| Air Velocity Schedule Name                           |           |                   |
| Thermal Comfort Model 1 Type                         |           |                   |
| Thermal Comfort Model 2 Type                         |           |                   |
| Thermal Comfort Model 3 Type                         |           |                   |
| Thermal Comfort Model 4 Type                         |           |                   |
| Thermal Comfort Model 5 Type                         |           |                   |

No campo *Number of People Schedule Name*, escolhe-se a rotina que controlará o objeto dentre as opções de *schedules* anteriormente definidos. Neste caso, a carga interna de ocupação será regida pelo *Sch People 1*.

No campo *Number of People Calculation Method*, escolhemos o método de cálculo que “interpretará” os fatores de uso da rotina associada ao objeto. Note que há três opções: *People*, *People/Area* e *People/Person*.

No primeiro caso, o dado de entrada é um valor absoluto que representa o número total de pessoas, sendo a quantidade informada no campo *Number of People*.

No segundo caso, o *input* requisitado é expresso em quantidade de pessoas por área de piso da zona térmica, sendo o valor inserido no campo *People per Zone Floor Area*.

No terceiro método de cálculo (*Area/Person*), define-se a área da zona térmica que pode ser ocupada por pessoa, sendo o valor inserido no campo *Zone Floor Area per Person*.



**ATENÇÃO!!!** Note que abaixo do campo *Number of People Calculation Method* estão os campos relativos às três opções de método de cálculo. Então, o usuário deve preencher aquele que é compatível ao método escolhido na lista suspensa, do contrário, a simulação retornará erros devido ao valor “vazio” no campo referente ao método de cálculo.

Dentre os três, foi escolhido o *People*, logo, até seis pessoas poderão ocupar a ZT\_1.

Frisamos que o valor de entrada informado representa uma “carga de pico”, ou seja, o máximo número de pessoas que poderá ocupar aquele ambiente (seja absoluto, seja por m<sup>2</sup> etc.). Com isto em mente, você pode interpretar os fatores de ocupação definidos na rotina *Sch People 1*. Com base no modo como havíamos configurado este objeto, sabe-se que, durante os dias de semana, nenhuma pessoa ocupa a zona térmica da meia-noite às 07:00h da manhã. A partir das 07:00h até às 17:00h, 6 pessoas ocupam o ambiente e, das 17:00h em diante, a ZT\_1 fica novamente desocupada. Já aos finais de semana, a zona térmica fica ocupada apenas das 07:00h ao meio-dia, permanecendo o restante do dia totalmente desocupada.

E se tivéssemos definido um fator de ocupação de 0.25 em algum período do dia, por exemplo? Então, nestes horários, estaríamos simulando 1,5 pessoas ocupando a zona térmica. Embora valores “quebrados” inexistam na vida real, isto não é um problema para o programa computacional. Em todo caso, o algoritmo simplesmente multiplicará o total de pessoas naquele período pelo metabolismo dos usuários e calculará a carga interna gerada na zona térmica para cada horário do dia.

Em seguida, temos o campo *Fraction Radiant*. Sabemos, dos capítulos anteriores, que as fontes de calor transferem energia para o ambiente por meio de convecção e radiação, entre outros fenômenos de transferência de calor. Sabemos também que, dentre estas fontes, estão os ocupantes da zona térmica, os quais emitem calor por condução, convecção, radiação e, ainda, por evaporação. Logo, cada mecanismo de ganho de calor terá sua fração correspondente.

O *EnergyPlus*<sup>TM</sup> requer apenas o valor da parcela radiativa, sendo as demais frações calculadas pelo programa. O valor *default* do *Fraction Radiant* é 0.3, ou seja, 30%, sendo o restante parte convectiva ou evaporação. O preenchimento deste campo está atrelado aos dados disponíveis em tabelas de valores em função da velocidade do ar e do metabolismo das pessoas, as quais podem ser encontradas em algumas das referências apresentadas no capítulo nono.

A fração sensível foi mantida no *autocalculate* (como o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> é um programa que requer muitos dados de entrada de seu usuário, é recomendável não mexer naquilo que ele pode calcular automaticamente para nós por meio de seus algoritmos, a menos que se trate de um estudo ou de um projeto em específico).

Você já deve ter percebido que os *inputs* indispensáveis são marcados em azul (o que não significa que somente estes campos devam ser preenchidos). O *Activity Level Schedule Name* é um destes casos. A partir da descrição constante no *Field Description*, sabe-se que o *schedule* a ser atribuído ao campo deve estar relacionado à atividade do ocupante. Portanto, foi selecionado o *schedule Activity People 1* que, em nosso exemplo, corresponde a 105 W/pessoa. Lembre-se que este valor também poderá ser obtido a partir de tabelas específicas constantes nas fontes apresentadas no capítulo nono.



**OBSERVAÇÃO!!!** Para este exemplo, adotamos um valor constante de 105W/pessoa ao longo do ano. Imagine, porém, que a zona térmica em questão (*ZT\_1*) representa um ambiente de dormitório. Neste caso, poderíamos haver detalhado a rotina *Activity People 1* com dois valores de metabolismo, um para as horas em que os usuários estão acordados e executando suas atividades e outro para os horários em que os ocupantes estão dormindo, visto que durante o sono o metabolismo cai consideravelmente.

Na sequência, estão alguns campos que podem ser definidos a depender do propósito da simulação (majoritariamente para modelagem e análise de parâmetros de conforto térmico). Em *Carbon Dioxide Generation Rate* insere-se a taxa de geração de CO<sub>2</sub> em m<sup>3</sup>/s.W (em função do metabolismo). Abaixo, é possível autorizar avisos relacionados ao conforto térmico em *Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings* (caso habilitado, o programa retornará *warnings* após a simulação, alertando se o modelo está “deixando muito a desejar” de acordo com os critérios de conforto estabelecidos pela *ASHRAE Standard 55*). O campo *Mean Radiant Temperature Calculation Type* apresenta opções para o cálculo da temperatura média radiante. Se necessária alguma informação além das atividades (por exemplo, o trabalho mecânico desenvolvido pelo

ser-humano) é possível atribuir um *schedule* próprio para este fim no campo *Work Efficiency Schedule Name*.

Além disso, o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> disponibiliza três métodos para o cálculo do isolamento térmico das roupas, disponíveis em *Clothing Insulation Calculation Method* e, na sequência, dois campos relacionados ao mesmo. No primeiro, insere-se o valor de 1 ou de 2 em função do método de cálculo escolhido e, no segundo, seleciona-se a rotina que controla a variação do *clo* ao longo do ano (é possível detalhar um determinado valor de *clo* para cada período do dia ou estação do ano, diferenciando o *clo* durante o verão do *clo* utilizado no inverno).

Note que o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> detém a capacidade de calcular tanto o metabolismo quanto o isolamento térmico das roupas, duas importantes variáveis de conforto térmico. O programa, contudo, não calcula a velocidade do ar, mesmo nos modelos mais avançados de ventilação natural. Diante disso, o usuário deve criar um *schedule* da velocidade do ar em cada momento para aquele ambiente (expressa em m/s) e inseri-lo no campo *Air Velocity Schedule Name*. No caso de um ambiente condicionado, por exemplo, deve-se buscar pelos valores de velocidade do vento no evaporador para cada horário do dia, conforme especificações do fabricante.

Por fim, tem-se os modelos de conforto, sendo possível a escolha de até cinco: *Fanger*, *Pierce*, *KSU*, adaptativo da *ASHRAE Standard 55* e adaptativo da norma europeia *CEN 15251*.

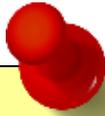
Em face do exposto, podemos concluir que o essencial para configuração de um objeto do *People* é:



### *People*

Para modelar e simular o ganho de calor em um determinado ambiente quando a fonte de energia são as pessoas que o ocupam, é preciso:

- Especificar a zona térmica a que se refere o objeto;
- Haver previamente configurado uma rotina de ocupação do ambiente ao longo do ano e atribuí-la ao objeto;
- Escolher um método de cálculo entre três opções disponíveis (total de pessoas em valores absolutos, quantidade de pessoas por m<sup>2</sup> ou quantidade de área ocupada por cada pessoa) e preencher o campo correspondente;
- Inserir o valor da fração radiante.



Quando desejável, configurar ainda os parâmetros próprios dos modelos de conforto térmico, sendo os principais:

- Atribuir os *schedules* que controlarão o *clo* dos ocupantes ao longo do ano e a velocidade do ar em cada momento na zona térmica;
- Definir os modelos de conforto térmico de acordo com a intenção do simulador.

## LIGHTS

Analisemos um objeto do *Lights* nomeado como “Iluminacao\_ZT\_1” associado à zona térmica ao qual se refere (ZT\_1). Em seguida, em *Schedule Name*, seleciona-se o *schedule* que controlará o uso desta iluminação (que deve ser do tipo *Fraction*, conforme informado no *Field Description*) neste ambiente.

Analogamente ao descrito para a ocupação, a carga de iluminação pode ser inserida de três maneiras:

- *Lighting Level* (nível de iluminação) representa uma potência absoluta, expressa em W. Este valor pode ser quantificado a partir do projeto luminotécnico ou pela soma de todas as potências das lâmpadas instaladas na zona térmica ou edificação, incluindo a potência dos reatores.
- Caso o método escolhido seja o *Watts/Area* (ou seja, da densidade de potência de iluminação), deve-se informar um valor em W/m<sup>2</sup> no campo *Watts per Zone Floor Area*. Este dado refere-se à relação da potência da iluminação pela área da zona térmica.
- Outra alternativa é o *Watts per Person*. Neste caso, o *input* requerido é expresso em W/pessoa, ou seja, a potência em função da quantidade de ocupantes desempenhando certas atividades em um ambiente da edificação.

Lembrando que estes valores também podem ser extraídos de base de dados, conforme as referências elencadas na Tabela 12 do capítulo nono. A Figura 157 apresenta um exemplo de objeto da classe *Lights*.

Figura 157: Objeto da classe *Lights* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                                                            | Units    | Obj1            |
|------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| Name                                                             |          | Iluminacao_ZT_1 |
| Zone or ZoneList Name                                            |          | ZT_1            |
| Schedule Name                                                    |          | Sch Lights 1    |
| Design Level Calculation Method                                  |          | Watts/Area      |
| Lighting Level                                                   | W        |                 |
| Watts per Zone Floor Area                                        | W/m2     | 15              |
| Watts per Person                                                 | W/person |                 |
| Return Air Fraction                                              |          |                 |
| Fraction Radiant                                                 |          | 0.72            |
| Fraction Visible                                                 |          | 0.18            |
| Fraction Replaceable                                             |          | 0               |
| End-Use Subcategory                                              |          | General         |
| Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature           |          | No              |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 1 |          |                 |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 2 | 1/K      |                 |
| Return Air Heat Gain Node Name                                   |          |                 |

Em seguida, aparecem algumas frações. O campo *Return Air Fraction* refere-se à fração de retorno de ar quando determinada quantidade de calor é retirada do ambiente por meio de dutos de ar. Neste caso, o retorno do ar-condicionado ou do sistema de ventilação é posicionado acima da lâmpada, de modo que o calor gerado pela lâmpada é retirado por exaustão. Embora incomuns no Brasil, estes sistemas servem para evitar o aumento de carga interna.

Ao utilizar-se as luminárias, uma parte de toda a potência (*Lighting Level*) gerará a luz visível e outra tornar-se-á calor. Tal fenômeno é expresso por meio de três parcelas: radiante, visível e convectiva, mas somente as duas primeiras são informadas no *Lights*. No caso, 72% é radiante, 18% é visível e, a partir das duas, deduz-se a convectiva é de 10%. Como os valores de cada fração variam em função do tipo de lâmpada, deve-se buscar pelas especificações do fabricante ou consultar bases de dados que os disponibilizam, conforme as referências de literatura recomendadas na Tabela 12.

Os campos descritos são suficientes para a modelagem da carga de iluminação. No mais, é possível definir o controle da luz natural, especificar uma subcategoria de uso final além do uso geral e informar ao programa os *inputs* do sistema de retorno de ar. Estes campos são mais específicos e avançados, requerendo coeficientes sensíveis ao tipo de luminária, obtidos a partir de medições detalhadas.

Logo, podemos resumir o essencial para configuração de um objeto da classe *Lights* nos seguintes passos:



## Lights

Para modelar e simular o ganho de calor interno proveniente do sistema de iluminação artificial em determinado ambiente, é necessário:

- Especificar a zona térmica a que se refere o objeto;
- Haver previamente configurado uma rotina que controlará a operação da iluminação ao longo do ano e atribuí-la ao objeto;
- Escolher um método de cálculo entre três opções disponíveis (potência absoluta, densidade de potência de iluminação ou valor da potência de iluminação por ocupante) e atribuir o valor do parâmetro no respectivo campo;
- Inserir os valores correspondentes à fração radiante e à fração visível com base no tipo de luminária utilizada no ambiente.

## ELETRIC EQUIPMENT

Para fechar a análise da configuração dos objetos de ganhos internos no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, temos o *ElectricEquipment*. A Figura 158 mostra um exemplar de objeto desta classe, nomeado como “equipamentos\_ZT\_1”.

Figura 158: Objeto da classe *Lights* visto a partir do *IDF Editor*

| Field                           | Units    | Obj1              |
|---------------------------------|----------|-------------------|
| Name                            |          | equipamentos_ZT_1 |
| Zone or ZoneList Name           |          | ZT_1              |
| Schedule Name                   |          | Sch Equipment 1   |
| Design Level Calculation Method |          | Watts/Area        |
| Design Level                    | W        |                   |
| Watts per Zone Floor Area       | W/m2     | 10.7              |
| Watts per Person                | W/person |                   |
| Fraction Latent                 |          |                   |
| Fraction Radiant                |          | 0.5               |
| Fraction Lost                   |          |                   |
| End-Use Subcategory             |          | General           |

Temos os habituais campos em que é atribuída a zona térmica ao objeto e do *schedule* que controlará a operação dos equipamentos ao longo do ano, bem como os métodos de cálculo dos ganhos de calor neste ambiente:

- *Equipment Level*: o qual requer como parâmetro de entrada a carga instalada de equipamentos presentes na zona térmica *ZT\_1*, expresso em *Watts*, sendo o valor inserido no campo *Design Level*. Considere, ainda, o seguinte adendo:
- *Watts/Area*: esta opção considera a densidade de potência como parâmetro de entrada, ou seja, a carga instalada de equipamentos dividido pela área da zona térmica, expresso em  $W/m^2$ , sendo o valor inserido no campo *Watts per Zone Floor Area*.
- *Watts/Person*: como alternativa, o usuário pode inserir como parâmetro de entrada o valor de potência média por ocupante no campo *Watts per Person*, expresso em W/pessoa.



**OBSERVAÇÃO!!!** Lembre-se que a carga instalada é a soma de todas as potências nominais de equipamentos em um determinado ambiente que podem ser acionados a qualquer momento. Veja como pode ser difícil quantificar a potência de cada equipamento até atingir-se um valor absoluto, visto que cada qual tem um padrão (rotina) de uso praticamente único. Neste caso, é mais vantajoso recorrer às bases de dados da literatura que já quantificaram valores médios de potência por tipo de ambiente, para rotinas de uso bem definidas, equipamentos específicos, frações radiantes etc. conforme a finalidade e tipo da edificação.

Na sequência, temos os campos:

- *Fraction Latent*, no qual é inserido o valor decimal de fração latente;
- *Fraction Radiant*, que corresponde à fração radiante, e;
- *Fraction Lost*, em que é possível informar a fração de calor liberado pelos equipamentos da zona térmica que é “perdido”, isto é, retirado da zona térmica. Esta perda pode advir tanto da energia elétrica convertida em trabalho mecânico quanto do calor liberado para a atmosfera (que não é convertido em carga térmica) após retirado do ambiente (por exaustão, por exemplo).

Por fim, o programa disponibiliza ainda um campo no qual o usuário pode especificar uma subcategoria de uso final, por exemplo, categorizada por equipamentos específicos.

Portanto, podemos resumir os passos necessários para configuração de um objeto do *ElectricEquipment* da seguinte maneira:



### *ElectricEquipment*

Para modelar e simular o ganho de calor interno oriundo dos equipamentos elétricos presentes em determinado ambiente, é preciso:

- Especificar a zona térmica a que se refere o objeto;
- Haver previamente configurado uma rotina de operação que controlará o uso de equipamentos ao longo do ano e atribuí-la ao objeto;
- Escolher um método de cálculo entre três opções possíveis (carga instalada, densidade de potência ou potência por pessoa) e atribuir o valor ao campo correspondente;
- Inserir o valor de fração radiante;

Conclusão: vimos que o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> permite que sejam inseridas rotinas de operação por meio de objetos distintos, facilitando a inserção de dados rápidos ou permitindo informações mais complexas e detalhadas. Os *schedules* possuem diversas aplicações, tais como a definição das cargas internas de ocupação, iluminação, equipamentos, sistemas de ar-condicionado etc., e até na definição de taxas metabólicas de ocupantes. Vamos configurar algumas destas rotinas para a zona térmica que estamos estudando?

## ROTEIRO V-c

# CONFIGURANDO AS CARGAS INTERNAS NO *ENERGYPLUS*<sup>™</sup>

---

Abra o *Modelo1Z\_01.idf* e salve-o em uma nova pasta como *Modelo1Z\_02.idf*. Vamos configurar as cargas internas de equipamentos e infiltração de ar para a zona térmica. Para tanto, é preciso definir as rotinas de uso associadas a estes grupos de objetos.

### **MODELO1Z\_02.idf**

Acesse o *ScheduleTypeLimits*. Apague os objetos predefinidos do *plugin OpenStudio*<sup>®</sup>, mantendo pelo menos um de base para edição. Em seguida, configure os objetos gerais que lhe ensinamos no capítulo anterior.

Figura 159: Objetos do *ScheduleTypeLimits* do modelo de uma zona térmica

| Field             | Units  | Obj1       | Obj2     | Obj3        | Obj4       |
|-------------------|--------|------------|----------|-------------|------------|
| Name              |        | Fraction   | On/Off   | Temperature | Any        |
| Lower Limit Value | varies | 0          | 0        | -40         |            |
| Upper Limit Value | varies | 1          | 1        | 200         |            |
| Numeric Type      |        | Continuous | Discrete | Continuous  | Continuous |
| Unit Type         |        |            |          | Temperature |            |

Em seguida, criemos duas rotinas: uma para “controlar” o uso de equipamentos e outra para o uso da ventilação natural simplificada durante o ano. Localize o *Schedule:Compact* na *Class List* e crie dois novos objetos.

O primeiro (nomeado *sch\_equipamentos*) representa uma rotina de uso dos equipamentos elétricos. Foi configurado para um padrão que se estende até o final do ano (*Through 12/31*). É do tipo *Fraction*. Possui configurações diferenciadas para os dias de semana e fins de semana. Para os *WeekDays*, supôs-se que até às 07:00h, o fator de utilização é de 0.1. Das 07:00h até às 11:00h, 1.0 (100% de utilização). Das 11:00h às 13:00h, 0.4. Das 13:00h às 17:00h, 1.0. E, por fim, das 17:00h às 24:00h, 0.1.

Para os fins de semana, adotou-se um padrão diário de 0.1, a fim de representar algo como se os equipamentos estivessem em *standby*. Para os demais tipos de dia considerados pelo programa, replicou-se a configuração dos *WeekDays*.

O *sch\_ventilacao*, por sua vez, consiste em um objeto de ventilação natural que controla a operação das aberturas (portas e janelas). Em suma, os limites que a rotina poderá assumir são do tipo *Fraction*. Fixou-se o mesmo período de ventilação para todos os dias do ano, sem distinção, ocorrendo das 07:00h às 17:00h, com fator de uso igual a 1.0 (simulando que todas as janelas e portas permanecem abertas durante o período diurno, permitindo o fluxo de ar na zona térmica durante este intervalo de tempo, sendo fechadas no restante do dia).

A Figura 160 demonstra a configuração destes dois objetos.

Figura 160: Configuração do *Schedule:Compact* para o Modelo de uma zona térmica no *EnergyPlus™*

| Field                     | Units  | Obj1              | Obj2           |
|---------------------------|--------|-------------------|----------------|
| Name                      |        | sch_equipmentos   | sch_ventilacao |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction          | Fraction       |
| Field 1                   | varies | Through: 12/31    | Through: 12/31 |
| Field 2                   | varies | For: WeekDays     | For: AllDays   |
| Field 3                   | varies | Until: 07:00      | Until: 07:00   |
| Field 4                   | varies | 0.1               | 0              |
| Field 5                   | varies | Until: 11:00      | Until: 17:00   |
| Field 6                   | varies | 1                 | 1              |
| Field 7                   | varies | Until: 13:00      | Until: 24:00   |
| Field 8                   | varies | 0.4               | 0              |
| Field 9                   | varies | Until: 17:00      |                |
| Field 10                  | varies | 1                 |                |
| Field 11                  | varies | Until: 24:00      |                |
| Field 12                  | varies | 0.1               |                |
| Field 13                  | varies | For: Weekends     |                |
| Field 14                  | varies | Until: 24:00      |                |
| Field 15                  | varies | 0.1               |                |
| Field 16                  | varies | For: AllOtherDays |                |
| Field 17                  | varies | Until: 07:00      |                |
| Field 18                  | varies | 0.1               |                |
| Field 19                  | varies | Until: 11:00      |                |
| Field 20                  | varies | 1                 |                |
| Field 21                  | varies | Until: 13:00      |                |
| Field 22                  | varies | 0.4               |                |
| Field 23                  | varies | Until: 17:00      |                |
| Field 24                  | varies | 1                 |                |
| Field 25                  | varies | Until: 24:00      |                |
| Field 26                  | varies | 0.1               |                |

Uma vez que ditamos “as regras” de como se comporta o uso de equipamentos ao longo do ano, vamos configurar a carga interna de equipamentos no *ElectricEquipment*.

Localize a classe do *ElectricEquipment* na *Class List*, crie um novo objeto e nomeie-o. Então, selecione a zona térmica “ZT\_1” como ambiente a que se refere este objeto e atribua o *schedule* “sch\_equipamentos” que controlará o uso dos equipamentos nesta zona térmica.

Dentre as três opções para o *Design Level Calculation Method*, optou-se pelo método de cálculo da densidade de carga interna instalada (W/m<sup>2</sup>), dada a disponibilidade de dados em normativas nacionais e internacionais. Com base na Tabela C.6 da NBR 16.401-1:2008 (ABNT, 2008), adotou-se um valor de 10,7 W/m<sup>2</sup> (correspondente a uma carga média em edifícios de escritório).

A Tabela 14 (*Table 14*) do *Handbook of Fundamentals* (ASHRAE, 2017) recomenda valores na ordem de 0.1 a 0.8 para a fração radiativa de equipamentos de escritório. Diante disso, adotou-se um valor teórico médio de 0,50 para a *Fraction Radiant*, conforme demonstra a Figura 161.

Figura 161: Configuração de um objeto de equipamentos da zona térmica ZT\_1

| Field                           | Units    | Obj1              |
|---------------------------------|----------|-------------------|
| Name                            |          | equipamentos_ZT_1 |
| Zone or ZoneList Name           |          | ZT_1              |
| Schedule Name                   |          | sch_equipamentos  |
| Design Level Calculation Method |          | Watts/Area        |
| Design Level                    | W        |                   |
| Watts per Zone Floor Area       | W/m2     | 10.7              |
| Watts per Person                | W/person |                   |
| Fraction Latent                 |          |                   |
| Fraction Radiant                |          | 0.5               |
| Fraction Lost                   |          |                   |
| End-Use Subcategory             |          | General           |

Agora que inserimos equipamentos na zona térmica e informamos seu funcionamento ao programa, vamos configurar a ventilação natural do ambiente. A ventilação natural pode ser entendida como o movimento (trocas de ar) que ocorre no interior do ambiente com resultado da operação das aberturas (portas e janelas) da envoltória. Conseqüentemente, não há consumo de energia pelo uso de ventiladores mecânicos.

Para simular a ventilação natural nesta zona térmica, utilizaremos um objeto da classe *ZoneVentilation:DesignFlowRate*. O objeto foi nomeado como “ventilação\_ZT\_1”, visto que se refere à zona térmica “ZT\_1”. Em seguida, atribui-se o *schedule* que controlará a ventilação do ambiente, conforme as rotinas de operação das aberturas que havíamos definido no objeto “sch\_ventilacao”, conforme demonstrado abaixo.

Figura 162: Configuração de um objeto de ventilação natural na zona térmica ZT\_1

| Field                                     | Units       | Obj1            |
|-------------------------------------------|-------------|-----------------|
| Name                                      |             | ventilacao_ZT_1 |
| Zone or ZoneList Name                     |             | ZT_1            |
| Schedule Name                             |             | sch_ventilacao  |
| Design Flow Rate Calculation Method       |             | AirChanges/Hour |
| Design Flow Rate                          | m3/s        |                 |
| Flow Rate per Zone Floor Area             | m3/s-m2     |                 |
| Flow Rate per Person                      | m3/s-person |                 |
| Air Changes per Hour                      | 1/hr        | 10              |
| Ventilation Type                          |             | Natural         |
| Fan Pressure Rise                         | Pa          |                 |
| Fan Total Efficiency                      |             | 1               |
| Constant Term Coefficient                 |             | 1               |
| Temperature Term Coefficient              |             |                 |
| Velocity Term Coefficient                 |             |                 |
| Velocity Squared Term Coefficient         |             |                 |
| Minimum Indoor Temperature                | C           | 22              |
| Minimum Indoor Temperature Schedule Name  |             |                 |
| Maximum Indoor Temperature                | C           | 28              |
| Maximum Indoor Temperature Schedule Name  |             |                 |
| Delta Temperature                         | deltaC      | 0               |
| Delta Temperature Schedule Name           |             |                 |
| Minimum Outdoor Temperature               | C           | 18              |
| Minimum Outdoor Temperature Schedule Name |             |                 |
| Maximum Outdoor Temperature               | C           | 32              |
| Maximum Outdoor Temperature Schedule Name |             |                 |
| Maximum Wind Speed                        | m/s         | 13.8            |

Note que há quatro alternativas de método de cálculo consideradas pelo programa:

- *Flow/Zone*, no qual insere-se o volume de ar externo que é renovado na zona térmica a cada segundo.
- *Flow/Area*, onde considera-se o volume de ar externo renovado a cada segundo em relação à área do ambiente.
- *Flow/Person*, cujo valor de entrada refere-se ao volume de ar externo que adentra o ambiente a cada segundo em relação à quantidade de ocupantes da zona térmica.
- *Air Changes / Hour*, em que o valor de entrada refere-se às trocas de ar por hora, ou seja, a quantidade do volume do ambiente (ZT\_1) que é renovado por ar externo a cada hora.

Diante disso, adotou-se um valor alto de *Air Changes per Hour* de 10 trocas por hora, sendo a ventilação do tipo natural (*Ventilation Type = Natural*).

Ademais, em condições reais de operação das aberturas, os ocupantes tendem a abrir ou fechar janelas e portas dependendo da temperatura do ar tanto no interior do ambiente quanto no exterior da edificação. Logo, quando está “muito quente” dentro do ambiente, é natural que o usuário abra janelas e portas para ventilar o interior. Outrossim, se lá fora faz muito frio, a ventilação natural é cessada a fim de manter o ambiente um pouco mais aquecido.

Esse comportamento pode ser modelado no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, definindo-se intervalos de valores toleráveis pelo usuário para cessar a ventilação natural. Para tanto, considerou-se como mínimas e máximas as temperaturas do ambiente interno entre 22°C e 28°C, respectivamente, e entre 18°C e 32°C para os valores de temperatura externa.

Logo, se a temperatura interna estiver abaixo dos 22°C ou acima dos 28°C, o programa “entenderá” que a ventilação natural deve ser cessada. Do mesmo modo, se do “lado de fora” estiver abaixo dos 18°C ou acima dos 32°C, cessa-se a ventilação. Note que estes valores foram configurados como fixos, mas há a possibilidade de atribuir *schedules* ao objeto que controlam o “desligamento” da ventilação natural em função do tempo, assim como demonstrado para as demais rotinas configuradas neste roteiro.

Ademais, em condições reais, se está “ventando” muito, é natural que o usuário feche as aberturas da edificação. Do mesmo modo, este objeto possibilita atribuir um delimitador da máxima velocidade do ar que até que seja cessada a ventilação natural naquele ambiente.

Lembrando que estes valores (limites de temperatura interna e externa e a velocidade máxima do ar admitidas pelo usuário) remetem às condições de conforto térmico humano, os quais podem ser obtidos a partir de diversos estudos, normativas e manuais técnicos e variam a depender do modelo de conforto térmico considerado pelo simulador.

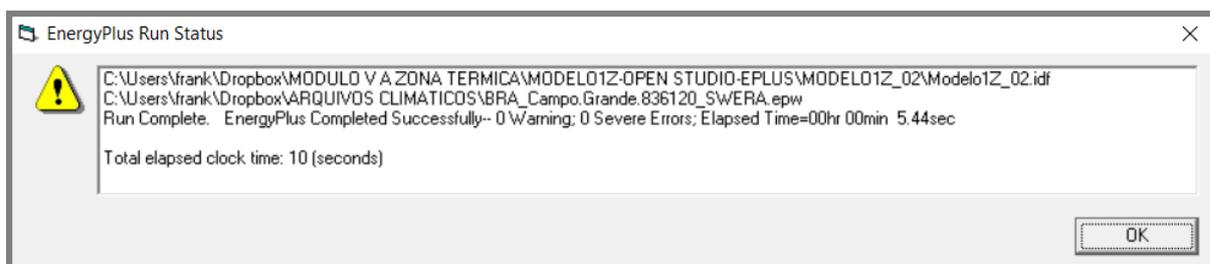
Para fins de exemplo, foram utilizados valores de temperatura concernentes à realidade climática de Campo Grande/MS, fruto da análise dos dados de clima deste município. Quanto ao parâmetro de velocidade do ar, tomou-se por base a escala de Beaufort (CPTEC-INPE, 2020), a qual considera que uma velocidade entre 10,8 a 13,8 m/s é de grau 6 (vento fresco), ou seja, de média intensidade.



**OBSERVAÇÃO!!!** Ao optar por não adotar nenhum critério de controle da ventilação natural, o simulador pode incorrer no erro de desprezar o fator das condições microclimáticas do ambiente, permitindo a entrada de ar muito quente ou muito frio que piorará o conforto térmico no interior da zona térmica e, conseqüentemente, prejudicará os resultados advindos da simulação.

Concluído a configuração dos objetos apresentados, salve como “Modelo1Z\_02”, feche o arquivo *.idf* e simule-o. Abaixo, o *Run Status* após rodar esta simulação.

Figura 163: *Run Status* do modelo de uma zona térmica “Modelo1Z\_02.idf”



Sendo constatado algum erro, procure corrigi-lo. Por hora, mantenha salvo o arquivo *.csv* gerado, pois ao final do roteiro faremos um comparativo entre os modelos.

## **MODELO1Z\_03.idf**

Dando sequência à configuração de cargas internas em um modelo de uma zona térmica, vamos modelar a iluminação e a ocupação da zona térmica. Como bem sabemos, é necessário criar *schedules* em que são detalhadas as rotinas de cada objeto.

Entretanto, agora não utilizaremos o *Schedule:Compact*, mas sim as classes alternativas: *Schedule:Day:Hourly*, *Schedule:Week:Daily* e *Schedule:Year*. Para mais detalhes sobre como são configurados os objetos destas classes, retorne ao capítulo décimo deste módulo.

Iniciemos pelo *Day:Hourly*. Localize-o na *Class List* e crie os seguintes objetos:

- “iluminação\_hourly\_wd”, o qual refere-se à rotina de uso horário da iluminação nos *weekdays*, ou seja, durante os dias da semana;
- “iluminação\_hourly\_we”, representando o uso horário da iluminação durante os *weekends* (aos finais de semana);
- “ocupacao\_hourly\_wd”, em que são definidos os horários de ocupação nos dias de semana;
- “ocupacao\_hourly\_we”, para a ocupação aos finais de semana, e;

- “hourly\_off” e “hourly\_on”, dois objetos que representam “tudo desligado” ou “tudo ligado”, os quais podem ser associados a alguns “tipos de dias” em que não há ocupação e nem uso da iluminação (feriados, por exemplo), ou que há total ocupação e tudo está ligado o dia todo (raras situações, mas é um objeto que pode ser conveniente em alguns casos).

Considerou-se que os usuários ocupam o ambiente em “horário comercial” durante a semana (das 07:00 às 18:00h, com pausa de 2h para o almoço) e em meio período aos finais de semana (início às 07:00h e término ao meio-dia), de acordo com os fatores que controlam a ocupação apresentados na Figura 164. A iluminação, por sua vez, tem seus padrões de uso definidos com base nos horários em que há ocupação, conforme as frações de operação para dias de semana e finais de semana detalhados na Figura 164.

Figura 164: Configuração das rotinas de ocupação e operação horárias no *Schedule:Day:Hourly*

| Field                     | Units  | Obj1                 | Obj2                 | Obj3               | Obj4               | Obj5      | Obj6       |
|---------------------------|--------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|------------|
| Name                      |        | iluminacao_hourly_wd | iluminacao_hourly_we | ocupacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_we | hourly_on | hourly_off |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction             | Fraction             | Fraction           | Fraction           | Fraction  | Fraction   |
| Hour 1                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 2                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 3                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 4                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 5                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 6                    | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 7                    | varies | 0.5                  | 0.5                  | 0.2                | 0.2                | 1         | 0          |
| Hour 8                    | varies | 1                    | 1                    | 1                  | 1                  | 1         | 0          |
| Hour 9                    | varies | 1                    | 1                    | 1                  | 1                  | 1         | 0          |
| Hour 10                   | varies | 1                    | 1                    | 1                  | 1                  | 1         | 0          |
| Hour 11                   | varies | 1                    | 1                    | 1                  | 1                  | 1         | 0          |
| Hour 12                   | varies | 0.5                  | 0.5                  | 0.2                | 0.2                | 1         | 0          |
| Hour 13                   | varies | 0.5                  | 0                    | 0.2                | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 14                   | varies | 1                    | 0                    | 1                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 15                   | varies | 1                    | 0                    | 1                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 16                   | varies | 1                    | 0                    | 1                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 17                   | varies | 1                    | 0                    | 1                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 18                   | varies | 0.5                  | 0                    | 0.2                | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 19                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 20                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 21                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 22                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 23                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |
| Hour 24                   | varies | 0                    | 0                    | 0                  | 0                  | 1         | 0          |

**ATENÇÃO!!!** Caso você esteja se perguntando o porquê de não termos configurado os objetos “hourly\_on” e “hourly\_off” diretamente no *Schedule:Constant* (visto que seria mais prático), a resposta é a seguinte: a classe *Schedule:Week:Daily* só aceita as rotinas do *Schedule:Day:Hourly*. Logo, mesmo para os casos de valores constantes ao longo do dia, estes devem ser informados um a um na referida classe de objetos.



Na sequência, crie dois objetos no *Schedule:Week:Daily*, sendo uma rotina de uso da iluminação e outra de ocupação durante a semana. Aos domingos (*Sunday*) e feriados (*Holiday*) não há ocupação (*hourly\_off*) e, conseqüentemente, a iluminação permanece desligada o dia todo. De segunda à sexta-feira, assim como para os demais tipos de dias do *EnergyPlus™* (à exceção do sábado), a iluminação funciona de acordo com os padrões “*iluminacao\_hourly\_wd*” e a ocupação conforme o “*ocupacao\_hourly\_wd*”. Para os sábados (*Saturday*), selecionou-se os *schedules* “*iluminacao\_hourly\_we*” e “*ocupacao\_hourly\_we*” para controle da iluminação e da ocupação, respectivamente.

Figura 165: Rotinas de ocupação e uso da iluminação por tipos de dia no *Schedule:Week:Daily*

| Field                             | Units | Obj1                 | Obj2               |
|-----------------------------------|-------|----------------------|--------------------|
| Name                              |       | iluminacao_daily     | ocupacao_daily     |
| Sunday Schedule:Day Name          |       | hourly_off           | hourly_off         |
| Monday Schedule:Day Name          |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| Tuesday Schedule:Day Name         |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| Wednesday Schedule:Day Name       |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| Thursday Schedule:Day Name        |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| Friday Schedule:Day Name          |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| Saturday Schedule:Day Name        |       | iluminacao_hourly_we | ocupacao_hourly_we |
| Holiday Schedule:Day Name         |       | hourly_off           | hourly_off         |
| SummerDesignDay Schedule:Day Name |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| WinterDesignDay Schedule:Day Name |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| CustomDay1 Schedule:Day Name      |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |
| CustomDay2 Schedule:Day Name      |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd |

Então, no *Schedule:Year*, definiu-se um padrão anual de uso de iluminação e ocupação, conforme demonstrado na Figura 166.

Figura 166: Rotinas de ocupação e uso da iluminação ao longo do ano configurados no *Schedule:Year*

| Field                     | Units | Obj1             | Obj2           |
|---------------------------|-------|------------------|----------------|
| Name                      |       | sch_iluminacao   | sch_ocupacao   |
| Schedule Type Limits Name |       | Fraction         | Fraction       |
| Schedule:Week Name 1      |       | iluminacao_daily | ocupacao_daily |
| Start Month 1             |       | 1                | 1              |
| Start Day 1               |       | 1                | 1              |
| End Month 1               |       | 12               | 12             |
| End Day 1                 |       | 31               | 31             |

No capítulo anterior, comentamos a possibilidade de inserção de parâmetros de conforto térmico nos objetos do *People*, lembra-se? Para configurá-los, o programa demanda que sejam

atribuídos *schedules* que representam o metabolismo e o isolamento térmico da vestimenta dos ocupantes, o trabalho mecânico por eles desenvolvido e a movimentação do ar no ambiente ao longo do ano.

Começemos por alguns *schedules* com valores constantes para todas as horas do ano criados no *ScheduleConstant*, conforme representado na Figura 167.

Figura 167: *Schedules* de atividade e trabalho mecânico realizados pelos usuários ao longo do ano

| Field                     | Units  | Obj1          | Obj2                | Obj3      | Obj4       |
|---------------------------|--------|---------------|---------------------|-----------|------------|
| Name                      |        | sch_atividade | sch_work_efficiency | always_on | always_off |
| Schedule Type Limits Name |        | Any           | Fraction            | On/Off    | On/Off     |
| Hourly Value              | varies | 108           | 0                   | 1         | 0          |

- “sch\_atividade”, do tipo *Any*, é um *schedule* que remete à taxa metabólica dos ocupantes. Em nosso exemplo, considerou-se um *Hourly Value* igual a 108 W/pessoa<sup>28</sup>. Este valor foi extraído na *Table 20* do *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE (2017), para a atividade de escritório “*Writing*”, isto é, “escrevendo”.

- “sch\_work\_efficiency”, do tipo *Fraction*, que representa o trabalho mecânico desempenhado pelos usuários, de modo que uma parte do metabolismo é convertida neste trabalho (por isso o objeto é limitado entre 0 e 1). Neste caso, não foi considerada esta possibilidade, sendo o valor horário igual a zero para o ano inteiro. Lembrando que esta rotina (ainda que com valor 0) deve ser criada, pois é um dos parâmetros de entrada dos campos de conforto térmico presentes em objetos do *People*, conforme previsto pelo modelo do PMV.

- “always\_on” e “always\_off”, dois *schedules* de valores discretos que sempre convém serem criados, representando sempre ligado e sempre desligado o ano todo.

Em seguida, vamos configurar as rotinas que controlam o isolamento térmico das roupas dos ocupantes e a movimentação do ar no interior do ambiente ao longo do ano. Para tanto, crie dois novos objetos no *Schedule:Compact*: um para representar a “vestimenta” dos usuários, chamado de “sch\_vestimenta” e outro para a movimentação de ar, chamado de “sch\_mov\_ar”, conforme demonstrado abaixo.

<sup>28</sup> Lembrando que a *Table 20* do *ASHRAE Fundamentals* (ASHRAE, 2017) compila valores de taxas metabólicas para uma série de atividades. Estes dados encontram-se dispostos em três colunas, sendo a primeira “*Activity Level W/ Person EnergyPlus Schedule Value*”, ou seja, valores já convertidos prontos para uso no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>. Em nosso exemplo, a atividade *Writing* possui uma taxa metabólica de 60 W/m<sup>2</sup>, considerando um valor médio de área de pelo igual a 1,80 m<sup>2</sup>, resulta em: 60 x 1,80 = 108 W/pessoa.

Figura 168: Schedules de vestimenta dos usuários e movimentação de ar ao longo do ano

| Field                     | Units  | Obj1              | Obj2           | Obj3           | Obj4           |
|---------------------------|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Name                      |        | sch_equipmentos   | sch_ventilacao | sch_vestimenta | sch_mov_ar     |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction          | Fraction       | Any            | Any            |
| Field 1                   | varies | Through: 12/31    | Through: 12/31 | Through: 06/20 | Through: 06/20 |
| Field 2                   | varies | For: WeekDays     | For: AllDays   | For: AllDays   | For: AllDays   |
| Field 3                   | varies | Until: 07:00      | Until: 07:00   | Until: 24:00   | Until: 24:00   |
| Field 4                   | varies | 0.1               | 0              | 0.5            | 0.15           |
| Field 5                   | varies | Until: 11:00      | Until: 17:00   | Through: 09/21 | Through: 09/21 |
| Field 6                   | varies | 1                 | 1              | For: AllDays   | For: AllDays   |
| Field 7                   | varies | Until: 13:00      | Until: 24:00   | Until: 24:00   | Until: 24:00   |
| Field 8                   | varies | 0.4               | 0              | 1              | 0.05           |
| Field 9                   | varies | Until: 17:00      |                | Through: 12/31 | Through: 12/31 |
| Field 10                  | varies | 1                 |                | For: AllDays   | For: AllDays   |
| Field 11                  | varies | Until: 24:00      |                | Until: 24:00   | Until: 24:00   |
| Field 12                  | varies | 0.1               |                | 0.5            | 0.15           |
| Field 13                  | varies | For: Weekends     |                |                |                |
| Field 14                  | varies | Until: 24:00      |                |                |                |
| Field 15                  | varies | 0.1               |                |                |                |
| Field 16                  | varies | For: AllOtherDays |                |                |                |
| Field 17                  | varies | Until: 07:00      |                |                |                |
| Field 18                  | varies | 0.1               |                |                |                |
| Field 19                  | varies | Until: 11:00      |                |                |                |
| Field 20                  | varies | 1                 |                |                |                |
| Field 21                  | varies | Until: 13:00      |                |                |                |
| Field 22                  | varies | 0.4               |                |                |                |
| Field 23                  | varies | Until: 17:00      |                |                |                |
| Field 24                  | varies | 1                 |                |                |                |
| Field 25                  | varies | Until: 24:00      |                |                |                |
| Field 26                  | varies | 0.1               |                |                |                |

Do início do ano até 20/06, adotou-se (para todas as horas do dia, para todos os tipos de dia) uma vestimenta própria para estações mais quentes do ano, com *clo* igual a 0.5. A partir de 20/06, considerou-se o começo do inverno em Campo Grande/MS, estendendo-se até 21/09. Diante disso, supôs-se que as pessoas utilizam uma vestimenta mais “pesada” em decorrência do frio, equivalente a 1.0 *clo*. Após 21/09 até o fim do ano, o clima volta a ser mais quente no município, portanto, os ocupantes utilizam vestimentas mais leves, com um *clo* igual a 0.5.



**OBSERVAÇÃO!!!** As configurações de datas predefinidas para verão e inverno e valores de *clo* são simplificações, não refletindo necessariamente a realidade climática de Campo Grande/MS, já que o município possui muitos dias quentes mesmo no inverno. O *EnergyPlus*<sup>TM</sup> dispõe de modelos mais refinados (métodos dinâmicos) que variam o “*clo*” em função da temperatura do ar interno. Ademais, lembre-se: ainda que estejamos afirmando que os valores 0.5 e 1 referem-se ao *clo*, por hora, são apenas números! O programa “entenderá” que o *clo* dos usuários varia ao longo do ano somente quando atribuirmos esta rotina a um objeto do *People* chamado *Clothing Insulation Schedule Name*.

Analogamente, ao objeto “sch\_mov\_ar” foram atribuídas as mesmas datas, com intuito de diferenciar a movimentação de ar interno nos dias mais quentes do ano (igual a 0.15 m/s, a fim de representar um sistema de ventilação operando ou mesmo um ar-condicionado) dos dias mais frios (em que a movimentação é menor, pois nenhum sistema de ventilação é acionado).

Uma vez que detalhamos os *schedules* que nos servirão de base para modelar as cargas internas de pessoas e iluminação, localize o *People* e o *Lights* no grupo *Internal Gains* e crie um novo objeto para cada classe.

Para o objeto “ocupacao\_ZT\_1”, considerou-se um total de 5 pessoas ocupando a zona térmica “ZT\_1” seguindo os horários de ocupação definidos no “sch\_ocupacao”. Este valor baseia-se nos dados da Tabela 1 da terceira parte da NBR 16.401:2008 (ABNT, 2008), que recomenda uma densidade média de ocupação para edifícios de escritório igual a 14 pessoas a cada 100m<sup>2</sup>, ou seja, 0.14 p/m<sup>2</sup>. Como a ZT\_1 possui área equivalente a 36m<sup>2</sup>, resulta que: 0.14 p/m<sup>2</sup> x 36m<sup>2</sup> = 5 pessoas. Abaixo, a configuração dos parâmetros deste objeto.

Figura 169: Configuração de um objeto do *People* que regerá o ganho de calor por ocupação na ZT\_1

| Field                                                | Units     | Obj1                       |
|------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| Name                                                 |           | ocupacao_ZT_1              |
| Zone or ZoneList Name                                |           | ZT_1                       |
| Number of People Schedule Name                       |           | sch_ocupacao               |
| Number of People Calculation Method                  |           | People                     |
| Number of People                                     |           | 5                          |
| People per Zone Floor Area                           | person/m2 |                            |
| Zone Floor Area per Person                           | m2/person |                            |
| Fraction Radiant                                     |           | 0.6                        |
| Sensible Heat Fraction                               |           | autocalculate              |
| Activity Level Schedule Name                         |           | sch_atividade              |
| Carbon Dioxide Generation Rate                       | m3/s-W    | 0.0000000382               |
| Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings                    |           | Yes                        |
| Mean Radiant Temperature Calculation Type            |           | ZoneAveraged               |
| Surface Name/Angle Factor List Name                  |           |                            |
| Work Efficiency Schedule Name                        |           | sch_work_efficiency        |
| Clothing Insulation Calculation Method               |           | ClothingInsulationSchedule |
| Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name |           | always_on                  |
| Clothing Insulation Schedule Name                    |           | sch_vestimenta             |
| Air Velocity Schedule Name                           |           | sch_mov_ar                 |
| Thermal Comfort Model 1 Type                         |           | Fanger                     |
| Thermal Comfort Model 2 Type                         |           | AdaptiveASH55              |
| Thermal Comfort Model 3 Type                         |           |                            |
| Thermal Comfort Model 4 Type                         |           |                            |
| Thermal Comfort Model 5 Type                         |           |                            |

A parcela de fração radiante corresponde a 0.6, sendo este valor extraído da *Table 14* do *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE (2017) para uma ocupação típica de escritórios.

Quanto aos parâmetros de conforto térmico, foram atribuídos os *schedules* de atividade (com taxa metabólica fixada em 108W/pessoa), trabalho mecânico (o qual corresponde ao valor zero o ano inteiro, mas, mesmo que não ocorra, é preciso inserir um *schedule* para não dar erro na simulação), vestimenta dos usuários (variação do *clo* ao longo do ano) e da movimentação do ar no interior da ZT\_1 (variação da velocidade do ar, em m/s, ao longo do ano). Já o *schedule* “always\_on” inserido no campo *Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name* é um *input* utilizado para informar ao programa que o método de cálculo escolhido foi o *Clothing Insulation* baseado em “schedules”, e não o método dinâmico.

Note também que os foi solicitado ao programa para retornar os *warnings* de conforto térmico conforme as diretrizes da ASHRAE 55, bem como foram considerados dois modelos de conforto térmico: o método de Fanger (ou do PMV/PPD) e o método de conforto adaptativo da ASHRAE 55.

Findada a configuração do objeto do *People*, vamos modelar os ganhos internos na zona térmica ZT\_1 oriundos da carga de iluminação, conforme demonstrado na Figura 170.

Figura 170: Configuração de um objeto do *Lights* que regerá o ganho de calor por iluminação na ZT\_1

| Field                                                            | Units    | Obj1            |
|------------------------------------------------------------------|----------|-----------------|
| Name                                                             |          | iluminacao_ZT_1 |
| Zone or ZoneList Name                                            |          | ZT_1            |
| Schedule Name                                                    |          | sch_iluminacao  |
| Design Level Calculation Method                                  |          | Watts/Area      |
| Lighting Level                                                   | W        |                 |
| Watts per Zone Floor Area                                        | W/m2     | 12              |
| Watts per Person                                                 | W/person |                 |
| Return Air Fraction                                              |          | 0               |
| Fraction Radiant                                                 |          | 0.42            |
| Fraction Visible                                                 |          | 0.18            |
| Fraction Replaceable                                             |          | 1               |
| End-Use Subcategory                                              |          | General         |
| Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature           |          | No              |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 1 |          |                 |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient 2 | 1/K      |                 |
| Return Air Heat Gain Node Name                                   |          |                 |

O método de cálculo escolhido foi o *Watts/Area*. A densidade de potência foi extraída da *Table 2* do *Handbook Fundamentals* da ASHRAE (2017), o qual recomenda um valor de 12 W/m<sup>2</sup> para ambientes “fechados” de escritórios.

Para as frações radiativas e visível, considerou-se que a luminária utilizada na ZT\_1 é do tipo fluorescente suspensa. Sendo assim, com base nos dados disponibilizados na *Table 14* do manual *Input Output Reference* do *EnergyPlus™* v. 8.3, estes valores correspondem a 0.42 e 0.18, respectivamente.

Por fim, adicione mais três variáveis de saída no *Output:Variable* (lembrando que você pode tanto copiá-las e colá-las no campo *Variable Name* quanto simular o arquivo *.idf* e resgatá-las a partir do RDD):

*Zone Thermal Comfort Fanger Model PMV*  
*Zone Thermal Comfort Fanger Model PPD*  
*Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model 80% Acceptability Status*

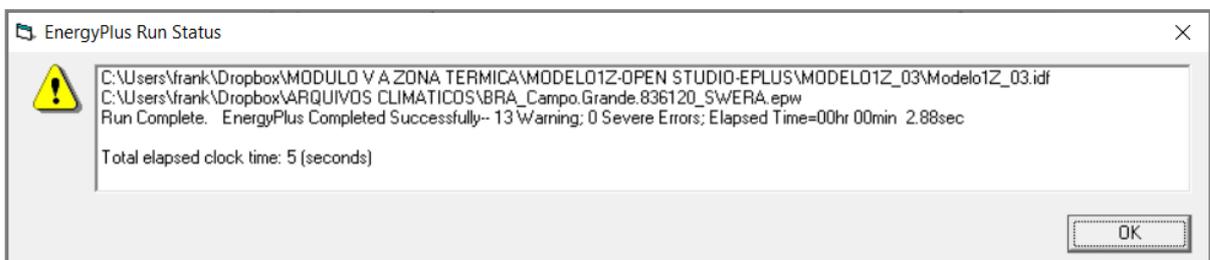
Figura 171: Adicionando três novas saídas no *Output:Variable* relacionadas ao conforto térmico

| Field               | Units | Obj1         | Obj2      | Obj3           | Obj4                                  | Obj5                                  | Obj6                                                                   |
|---------------------|-------|--------------|-----------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Key Value           |       | *            | *         | *              | *                                     | *                                     | *                                                                      |
| Variable Name       |       | Site Outdoor | Zone Mean | Zone Operative | Zone Thermal Comfort Fanger Model PMV | Zone Thermal Comfort Fanger Model PPD | Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model 80% Acceptability Status |
| Reporting Frequency |       | Hourly       | Hourly    | Hourly         | Hourly                                | Hourly                                | Hourly                                                                 |
| Schedule Name       |       |              |           |                |                                       |                                       |                                                                        |

Os *outputs* acima são os indicadores de PMV e PPD de conforto térmico com o método do Fanger (ISO 7730) e os indicadores do modelo adaptativo da ASHRAE (o valor 0 representa “fora” da zona de conforto térmico, 1 significa “dentro” da zona de conforto e -1 não se aplica devido à ocupação da zona térmica ser nula).

Salve como “Modelo1Z\_3.idf” e simule o arquivo *.idf*.

Figura 172: *RunStatus* da simulação do “Modelo1Z\_3.idf”



Note que o programa retornou alguns *warnings*. Abra o log de erros e perceba que estes referem-se aos avisos de conforto térmico da ASHRAE 55 que havíamos habilitado no objeto do *People*.

Figura 173: Warnings do “Modelo1Z\_3.idf”

```

Modelo1Z_03 - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Program Version, EnergyPlus, Version 9.4.0-998c4b761e, YMD=2020.11.09 08:58,
***** Testing Individual Branch Integrity
***** All Branches passed integrity testing
***** Testing Individual Supply Air Path Integrity
***** All Supply Air Paths passed integrity testing
***** Testing Individual Return Air Path Integrity
***** All Return Air Paths passed integrity testing
***** No node connection errors were found.
***** Beginning Simulation
** Warning ** Calculated Relative Humidity out of range (PsyRhFnTdbWPb)
** ~~~~ ** Routine=Unknown, Environment=RUN PERIOD 1, at Simulation time=03/25 22:10 - 22:20
** ~~~~ ** Dry-Bulb= 28.56 Humidity Ratio= 2.967E-002 Calculated Relative Humidity [%]= 101.74
** ~~~~ ** Relative Humidity being reset to 100.0%
** Warning ** More than 4% of time (350.4 hours) uncomfortable in one or more zones
** ~~~~ ** Based on ASHRAE 55-2004 graph (Section 5.2.1.1)
** ~~~~ ** During Environment [01/01/2015 - 12/31/2015]: RUN PERIOD 1
** ~~~~ ** 3020.2 hours were uncomfortable in zone: ZT_1
***** Simulation Error Summary *****
***** There are 2 unused schedules in input.
***** There are 2 unused week schedules in input.
***** There are 3 unused day schedules in input.
***** Use Output:Diagnostics,DisplayUnusedSchedules; to see them.
*****
***** ===== Recurring Error Summary =====
***** The following recurring error messages occurred.
*****
***** ** Warning ** Calculated Relative Humidity out of range (PsyRhFnTdbWPb)
***** ** ~~~~ ** This error occurred 12 total times;
***** ** ~~~~ ** during Warmup 0 times;
***** ** ~~~~ ** during Sizing 0 times.
***** ** ~~~~ ** Max=101.84753 % Min=101.607717 %
*****
***** EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.
***** EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 0 Warning; 0 Severe Errors.
***** EnergyPlus Completed Successfully-- 13 Warning; 0 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 00min 2.88sec
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Agora, vamos modelar um sistema de ar condicionado “ideal” para a zona térmica de exemplo, incrementando ainda mais nosso modelo.

## MODELO1Z\_04.idf

O sistema de ar-condicionado considerado “ideal” é aquele que consegue suprir 100% das necessidades de *setpoint* definidas, tanto de resfriamento quanto aquecimento. Para modelá-lo, é preciso configurar alguns *schedules* de controle, termostatos, definir outros parâmetros no *SimulationControl* e readequar a ventilação natural. Então, mãos à obra!

Abra o Modelo1Z\_03.idf e ajuste o *SimulationControl* para realizar o dimensionamento da carga térmica para cada zona térmica do modelo (em nosso caso, apenas a ZT\_1), alterando o campo *Do Zone Sizing Calculation* para *Yes*, conforme demonstrado abaixo.

Figura 174: Ajuste do *SimulationControl* para dimensionar a carga térmica do modelo

| Field                                           | Units | Obj1 |
|-------------------------------------------------|-------|------|
| Do Zone Sizing Calculation                      |       | Yes  |
| Do System Sizing Calculation                    |       | No   |
| Do Plant Sizing Calculation                     |       | No   |
| Run Simulation for Sizing Periods               |       | No   |
| Run Simulation for Weather File Run Periods     |       | Yes  |
| Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods    |       | No   |
| Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes |       | 1    |

Em seguida, vamos configurar as rotinas que controlarão o uso do ar-condicionado. O detalhamento foi realizado pelo método de horas do dia (*Schedule:Day:Hourly*), tipos de dia da semana (*Schedule:Week:Daily*), semanas do ano (*Schedule:Year*), de acordo com as definições apresentadas nas Figuras 175, 176, 177.

Figura 175: Adição das rotinas horárias de uso do ar-condicionado no *Schedule:Day:Hourly*

| Field                     | Units  | Obj1       | Obj2       | Obj3     | Obj4     | Obj5      | Obj6       | Obj7           | Obj8           |
|---------------------------|--------|------------|------------|----------|----------|-----------|------------|----------------|----------------|
| Name                      |        | iluminacac | iluminacac | ocupacao | ocupacao | hourly_on | hourly_off | AVAC_hourly_wd | AVAC_hourly_we |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction   | Fraction   | Fraction | Fraction | Fraction  | Fraction   | Fraction       | Fraction       |
| Hour 1                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 2                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 3                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 4                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 5                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 6                    | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 7                    | varies | 0.5        | 0.5        | 0.2      | 0.2      | 1         | 0          | 1              | 1              |
| Hour 8                    | varies | 1          | 1          | 1        | 1        | 1         | 0          | 1              | 1              |
| Hour 9                    | varies | 1          | 1          | 1        | 1        | 1         | 0          | 1              | 1              |
| Hour 10                   | varies | 1          | 1          | 1        | 1        | 1         | 0          | 1              | 1              |
| Hour 11                   | varies | 1          | 1          | 1        | 1        | 1         | 0          | 1              | 1              |
| Hour 12                   | varies | 0.5        | 0.5        | 0.2      | 0.2      | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 13                   | varies | 0.5        | 0          | 0.2      | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 14                   | varies | 1          | 0          | 1        | 0        | 1         | 0          | 1              | 0              |
| Hour 15                   | varies | 1          | 0          | 1        | 0        | 1         | 0          | 1              | 0              |
| Hour 16                   | varies | 1          | 0          | 1        | 0        | 1         | 0          | 1              | 0              |
| Hour 17                   | varies | 1          | 0          | 1        | 0        | 1         | 0          | 1              | 0              |
| Hour 18                   | varies | 0.5        | 0          | 0.2      | 0        | 1         | 0          | 1              | 0              |
| Hour 19                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 20                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 21                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 22                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 23                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |
| Hour 24                   | varies | 0          | 0          | 0        | 0        | 1         | 0          | 0              | 0              |

Figura 176: Configuração do uso do ar-condicionado para os tipos de dias no *Schedule:Week:Daily*

| Field                             | Units | Obj1                 | Obj2               | Obj3           | Obj4           |
|-----------------------------------|-------|----------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Name                              |       | iluminacao_daily     | ocupacao_daily     | AVAC_daily     | off_daily      |
| Sunday Schedule:Day Name          |       | hourly_off           | hourly_off         | hourly_off     | hourly_off     |
| Monday Schedule:Day Name          |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| Tuesday Schedule:Day Name         |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| Wednesday Schedule:Day Name       |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| Thursday Schedule:Day Name        |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| Friday Schedule:Day Name          |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| Saturday Schedule:Day Name        |       | iluminacao_hourly_we | ocupacao_hourly_we | AVAC_hourly_we | hourly_off     |
| Holiday Schedule:Day Name         |       | hourly_off           | hourly_off         | hourly_off     | hourly_off     |
| SummerDesignDay Schedule:Day Name |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | AVAC_hourly_wd |
| WinterDesignDay Schedule:Day Name |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | AVAC_hourly_wd |
| CustomDay1 Schedule:Day Name      |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |
| CustomDay2 Schedule:Day Name      |       | iluminacao_hourly_wd | ocupacao_hourly_wd | AVAC_hourly_wd | hourly_off     |

Figura 177: Configuração do uso do ar-condicionado ao longo do ano no *Schedule:Year*

| Field                     | Units | Obj1             | Obj2           | Obj3          | Obj4           |
|---------------------------|-------|------------------|----------------|---------------|----------------|
| Name                      |       | sch_iluminacao   | sch_ocupacao   | sch_AVAC_resf | sch_AVAC_aquec |
| Schedule Type Limits Name |       | Fraction         | Fraction       | Fraction      | Fraction       |
| Schedule:Week Name 1      |       | iluminacao_daily | ocupacao_daily | AVAC_daily    | off_daily      |
| Start Month 1             |       | 1                | 1              | 1             | 1              |
| Start Day 1               |       | 1                | 1              | 1             | 1              |
| End Month 1               |       | 12               | 12             | 12            | 6              |
| End Day 1                 |       | 31               | 31             | 31            | 20             |
| Schedule:Week Name 2      |       |                  |                |               | AVAC_daily     |
| Start Month 2             |       |                  |                |               | 6              |
| Start Day 2               |       |                  |                |               | 21             |
| End Month 2               |       |                  |                |               | 9              |
| End Day 2                 |       |                  |                |               | 21             |
| Schedule:Week Name 3      |       |                  |                |               | off_daily      |
| Start Month 3             |       |                  |                |               | 9              |
| Start Day 3               |       |                  |                |               | 22             |
| End Month 3               |       |                  |                |               | 12             |
| End Day 3                 |       |                  |                |               | 31             |

Em suma, o uso do sistema de condicionamento de ar difere entre os dias da semana e períodos do ano. Com relação aos dias da semana, considerou-se que o sistema é utilizado de segunda à sexta-feira das 07:00 às 11:00h e das 14:00 às 18:00h e, aos finais de semana, durante meio período no sábado e em nenhum momento no domingo.

Quanto ao uso anual, diferenciou-se a disponibilidade dos sistemas de resfriamento e aquecimento por estação do ano. Enquanto o “sch\_AVAC\_resf” pode ser utilizado o ano todo (obedecendo as rotinas anteriormente definidas), observe que o “sch\_AVAC\_aquec” só está disponível para uso durante a estação de inverno de Campo Grande/MS, que inicia em 21 de junho e finda em 21 de setembro. Nos demais meses do ano, o sistema de aquecimento fica totalmente desligado (*off\_daily*) de primeiro de janeiro até 20 de junho e de 22 de setembro até o último dia do ano.

Em seguida, vamos modelar o sistema de condicionamento de ar a ser utilizado na zona térmica ZT\_1.

Localize na *Class List* o grupo “*HVAC Templates*”. Note que o *EnergyPlus*<sup>TM</sup> dispõe de uma série de “templates” que possibilitam configurar desde modelos mais simples até os mais complexos sistemas de condicionamento do ar (incluindo desde sistemas multizonas, como o VRF – vazão de refrigerante variável e VAV – vazão de ar variável, até *chillers*, *boilers*, entre outros modelos). Evidentemente, como trabalharemos com um sistema “ideal”, utilizaremos um modelo simplificado.

Para configurar o sistema, são necessários dois objetos. Um é para o “termostato” que controlará automaticamente a temperatura do sistema no interior da zona térmica, o qual pode ser criado a partir do *HVACTemplate:Thermostat*. O outro é para o sistema de condicionamento do ar, que, em nosso caso, será um objeto do *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*, o qual não gera o consumo de eletricidade, mas a carga térmica do sistema em si.

Iniciemos pelo termostato, que pode ser configurado de duas maneiras. A primeira (e mais simples) requer apenas dois valores fixos de *setpoint*, um para arrefecimento e outro para aquecimento, de modo que, quando a temperatura interna superar ou estiver abaixo de um dos limites, o sistema é acionado para reestabelecer as condições de conforto dos usuários. Outra opção (mais realista do ponto de vista do comportamento dos ocupantes) seria criar e atribuir dois *schedules* para regular o *setpoint* ao longo do ano.

Optamos por assinalar valores constantes de *setpoint*, cujos limites para acionamento do aquecimento corresponde a 18°C (abaixo desta temperatura o sistema é ligado) e da refrigeração a 24°C (acima desta temperatura o sistema é ligado). Evidentemente que o intervalo entre estes dois valores representa a zona de conforto térmico dos usuários.

Figura 178: Ajuste dos *setpoints* do sistema de condicionamento do ar no *HVACTemplate:Thermostat*

| Field                          | Units | Obj1            |
|--------------------------------|-------|-----------------|
| Name                           |       | termostato_ZT_1 |
| Heating Setpoint Schedule Name |       |                 |
| Constant Heating Setpoint      | C     | 18              |
| Cooling Setpoint Schedule Name |       |                 |
| Constant Cooling Setpoint      | C     | 24              |

Definidos os *setpoints*, vamos configurar o *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*. Não nos deteremos em explicar campo por campo dos objetos desta classe, mas apenas o básico

para modelar um sistema ideal de condicionamento do ar. Para informações mais detalhadas, consulte os manuais de referência do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

Crie um novo objeto. Observe que não é necessário nomeá-lo, pois o primeiro parâmetro de entrada é a zona térmica a que se refere o sistema de condicionamento do ar. Na sequência, seleciona-se o termostato e o *schedule* que controlará o sistema como um todo. A Figura 179 apresenta a configuração de um objeto do *Ideal Loads* para a ZT\_1.

Figura 179: Configuração do sistema ideal de condicionamento do ar para o modelo de uma zona térmica realizada no *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem*

| Field                                        | Units            | Obj1                      |
|----------------------------------------------|------------------|---------------------------|
| Zone Name                                    |                  | ZT_1                      |
| Template Thermostat Name                     |                  | termostato_ZT_1           |
| System Availability Schedule Name            |                  | sch_AVAC_resf             |
| Maximum Heating Supply Air Temperature       | C                | 50                        |
| Minimum Cooling Supply Air Temperature       | C                | 13                        |
| Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio    | kgWater/kgDryAir | 0.0156                    |
| Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio    | kgWater/kgDryAir | 0.0077                    |
| Heating Limit                                |                  | NoLimit                   |
| Maximum Heating Air Flow Rate                | m3/s             |                           |
| Maximum Sensible Heating Capacity            | W                |                           |
| Cooling Limit                                |                  | NoLimit                   |
| Maximum Cooling Air Flow Rate                | m3/s             |                           |
| Maximum Total Cooling Capacity               | W                |                           |
| Heating Availability Schedule Name           |                  | sch_AVAC_aquec            |
| Cooling Availability Schedule Name           |                  | sch_AVAC_resf             |
| Dehumidification Control Type                |                  | ConstantSensibleHeatRatio |
| Cooling Sensible Heat Ratio                  | dimensionless    | 0.7                       |
| Dehumidification Setpoint                    | percent          | 60                        |
| Humidification Control Type                  |                  | None                      |
| Humidification Setpoint                      | percent          | 30                        |
| Outdoor Air Method                           |                  | Flow/Person               |
| Outdoor Air Flow Rate per Person             | m3/s             | 0.0038                    |
| Outdoor Air Flow Rate per Zone Floor Area    | m3/s-m2          |                           |
| Outdoor Air Flow Rate per Zone               | m3/s             |                           |
| Design Specification Outdoor Air Object Name |                  |                           |
| Demand Controlled Ventilation Type           |                  | None                      |
| Outdoor Air Economizer Type                  |                  | NoEconomizer              |
| Heat Recovery Type                           |                  | None                      |
| Sensible Heat Recovery Effectiveness         | dimensionless    | 0.7                       |
| Latent Heat Recovery Effectiveness           | dimensionless    | 0.65                      |

Os campos *Maximum Heating Supply Air Temperature* e *Minimum Cooling Supply Air Temperature* representam os limites de temperatura do ar de insuflamento, os quais dependem da máquina e especificações do fabricante. O *EnergyPlus*<sup>TM</sup> sugere como *default* os valores de 50°C e 13°C, respectivamente.

Do mesmo modo, foram mantidos como *default* os valores máximo e mínimo das taxas de umidade em quilograma de água por quilograma do ar seco, os quais também dependem de informações do fabricante.

Os campos de *Heating* e *Cooling Limits* foram assinalados como *NoLimit*. Isso significa que o ar-condicionado modelado não terá limites na capacidade de refrigeração/aquecimento, caracterizando o sistema como ideal.

Depois, foram atribuídos aos campos *Heating* e *Cooling Availability Schedule Name* os *schedules* que controlam a disponibilidade de uso do aquecimento e de refrigeração da zona térmica ao longo do ano.

O campo de controle de desumidificação também não foi alterado, permanecendo como *ConstantSensibleHeatRatio*. Neste caso, a taxa de calor sensível de resfriamento recomendada pelo programa é de 0.7. Os valores dos *setpoints* de umidificação e desumidificação foram mantidos em 60% e 30% de umidade relativa do ar no interior da zona térmica, respectivamente.

Quanto ao método de tomada de ar externo (*Outdoor Air Method*), escolheu-se o *Flow / Person*. Com base nos dados disponíveis na Tabela 1 da parte 3 da NBR 16.401:2008, a vazão eficaz de ar exterior para ventilação em um edifício de escritórios, cuja densidade de ocupação é média, deve ser de 3,8 L/s.pessoa para o nível 3. Logo, convertendo para a unidade requerida pelo *EnergyPlus™*, chega-se à tomada de ar externo igual a 0.0038 m<sup>3</sup>/s por ocupante da zona térmica. Para os demais campos do objeto, foram mantidos os valores *default* do *EnergyPlus™*.

Uma vez configurado o sistema ideal de condicionamento de ar da ZT\_1, resta agora corrigir o modelo de ventilação natural configurado anteriormente, dispensando-a nos períodos em que o sistema artificial estiver operando. Para tanto, é necessário criar um novo objeto na classe do *Schedule:Compact* que representará esta rotina, conforme demonstrado abaixo.

Figura 180: Criação de um *schedule* para a nova configuração de ventilação natural da ZT\_1

| Field                     | Units  | Obj5                    |
|---------------------------|--------|-------------------------|
| Name                      |        | sch_ventilacao_com_AVAC |
| Schedule Type Limits Name |        | Fraction                |
| Field 1                   | varies | Through: 12/31          |
| Field 2                   | varies | For: AllDays            |
| Field 3                   | varies | Until: 07:00            |
| Field 4                   | varies | 1                       |
| Field 5                   | varies | Until: 17:00            |
| Field 6                   | varies | 0                       |
| Field 7                   | varies | Until: 24:00            |
| Field 8                   | varies | 1                       |

Note que o “sch\_ventilacao\_com\_AVAC” é oposto ao “sch\_ventilacao”, pois, agora, a ventilação natural não coincide com os horários de uso do ar-condicionado na ZT\_1 (lembrando que já prevemos uma certa tomada de ar externo enquanto o sistema artificial estiver sendo utilizado).

Depois, acesse o objeto “ventilacao\_ZT\_1” da classe *ZoneVentilation:DesignFlowRate* e altere os campos *Schedule Name* para o “sch\_ventilacao\_com\_AVAC” e a taxa de renovação de ar para 1 troca por hora (*Air Changes per Hour = 1*), suficiente para promover uma pequena infiltração de ar noturna fora dos horários de ocupação.

Figura 181: Atribuição do novo *schedule* que controlará a ventilação natural na zona térmica

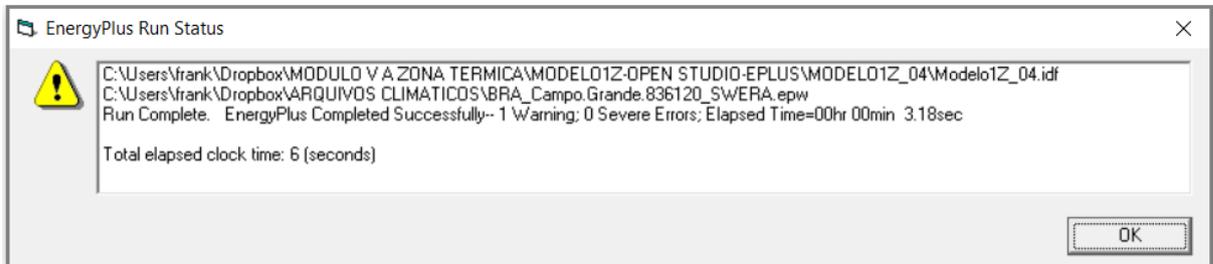
| Field                                     | Units       | Obj1                    |
|-------------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Name                                      |             | ventilacao_ZT_1         |
| Zone or ZoneList Name                     |             | ZT_1                    |
| Schedule Name                             |             | sch_ventilacao_com_AVAC |
| Design Flow Rate Calculation Method       |             | AirChanges/Hour         |
| Design Flow Rate                          | m3/s        |                         |
| Flow Rate per Zone Floor Area             | m3/s-m2     |                         |
| Flow Rate per Person                      | m3/s-person |                         |
| Air Changes per Hour                      | 1/hr        | 1                       |
| Ventilation Type                          |             | Natural                 |
| Fan Pressure Rise                         | Pa          |                         |
| Fan Total Efficiency                      |             | 1                       |
| Constant Term Coefficient                 |             | 1                       |
| Temperature Term Coefficient              |             |                         |
| Velocity Term Coefficient                 |             |                         |
| Velocity Squared Term Coefficient         |             |                         |
| Minimum Indoor Temperature                | C           | 22                      |
| Minimum Indoor Temperature Schedule Name  |             |                         |
| Maximum Indoor Temperature                | C           | 28                      |
| Maximum Indoor Temperature Schedule Name  |             |                         |
| Delta Temperature                         | deltaC      | 0                       |
| Delta Temperature Schedule Name           |             |                         |
| Minimum Outdoor Temperature               | C           | 18                      |
| Minimum Outdoor Temperature Schedule Name |             |                         |
| Maximum Outdoor Temperature               | C           | 32                      |
| Maximum Outdoor Temperature Schedule Name |             |                         |
| Maximum Wind Speed                        | m/s         | 13.8                    |

Findado o processo, adicione as seguintes saídas no *Output:Variable*:

*Zone Ideal Loads Supply Air Sensible Cooling Energy*  
*Zone Ideal Loads Supply Air Sensible Heating Energy*  
*Zone Ideal Loads Supply Air Mass Flow Rate*

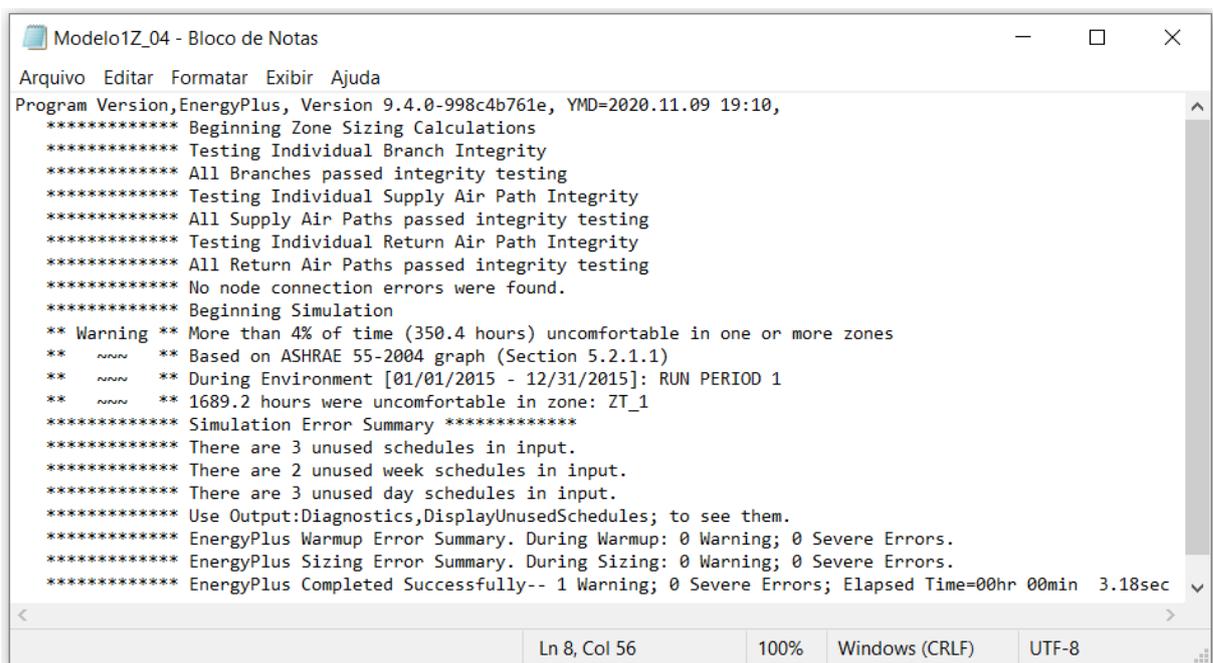
Pronto! Salve o arquivo como “Modelo1Z\_04.idf” e, então, simule-o.

Figura 182: *RunStatus* do Modelo1Z\_04.idf



Abra o *log* de erros. Note que a quantidade de *warnings* diminuiu substancialmente entre os modelos 3 e 4, o que é um retrato do impacto na melhoria do conforto térmico dos ocupantes causado pela adição de um sistema de condicionamento de ar à ZT\_1.

Figura 183: *Log* de erros do Modelo1Z\_04.idf



Agora, daremos início às análises dos modelos de uma zona térmica configurados ao longo deste roteiro.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ufa! Muitos dados foram gerados neste Roteiro. Recapitulando:

Tabela 13: Resumo da modelagem passo a passo de uma zona térmica

| Modelo             | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Dados de saída (horários)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Modelo1Z</b>    | <p>Inicialmente desenvolvido no <i>plugin</i> do <i>OpenStudio</i>® e depois exportado como arquivo <i>.idf</i>, o “Modelo_1Z” representa uma zona térmica chamada “ZT_1”, cuja área equivale a 36m<sup>2</sup> e que contém três aberturas, sendo uma porta e uma janela na fachada sul e uma janela na fachada norte.</p> <p>A partir deste modelo base, foram configurados todos os demais modelos e, portanto, remetem a uma mesma geometria.</p>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo de base, nenhuma saída foi solicitada</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Modelo1Z_01</b> | <p>No “Modelo1Z_01”, foram atribuídos os materiais e componentes construtivos às superfícies (paredes, piso etc.) e subsuperfícies (janelas, portas) da zona térmica.</p> <p>Agora, a ZT_1 passa a representar um ambiente em contato com o solo cujas paredes são de concreto convencional e que possui em seu interior uma laje-forro entre o piso de concreto revestido de cerâmica e a cobertura de telha cerâmica. Ademais, as aberturas da fachada tornam-se uma porta de aço e janelas de vidro simples.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de bulbo seco</li> <li>- Temperatura do ar interno da zona térmica</li> <li>- Temperatura operativa</li> </ul>                                                                                                                                                                        |
| <b>Modelo1Z_02</b> | <p>Gerado a partir do modelo anterior, o “Modelo1Z_02” passa a incluir o uso de equipamentos elétricos em seu interior e a ventilação natural da zona térmica, ambos controlados por meio de rotinas que variam a operação dos equipamentos e das aberturas conforme as horas do dia, dias da semana e semanas do ano.</p>                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de bulbo seco</li> <li>- Temperatura do ar interno da zona térmica</li> <li>- Temperatura operativa</li> </ul>                                                                                                                                                                        |
| <b>Modelo1Z_03</b> | <p>O “Modelo1Z_03” acrescenta novas fontes de calor à zona térmica. Além da carga interna de equipamentos, o ambiente passa a ser ocupado (em certos períodos do dia) por pessoas que ali desempenham suas atividades e utilizam o sistema de iluminação, os equipamentos e as aberturas da zona térmica.</p>                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos os <i>outputs</i> anteriores, mais:</li> <li>- Valor do PMV, segundo o modelo da ASHRAE 55</li> <li>- Percentual PPD, segundo o modelo da ASHRAE 55</li> <li>- Status de conforto térmico dos usuários para 80% de aceitabilidade de acordo com o modelo adaptativo da ASHRAE 55</li> </ul> |
| <b>Modelo1Z_04</b> | <p>O “Modelo1Z_04” possui todas as atribuições citadas nos modelos anteriores, com um incremento: a ZT_1 passa a ser condicionada artificialmente por meio de um sistema “ideal” que opera durante certos períodos ao longo do ano.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos os parâmetros de saída do Modelo1Z_3, mais:</li> <li>- Carga térmica de aquecimento</li> <li>- Carga térmica de resfriamento</li> <li>- Taxa de insuflamento de ar na ZT</li> </ul>                                                                                                         |

Abra os arquivos .csv gerados pós-simulação, copie os dados de saída e cole-os em uma nova planilha do Excel. Como foram gerados muitos dados horários, pode ser mais conveniente utilizar como recurso de análise a ferramenta de gráficos e tabelas dinâmicas do Excel.

Várias considerações podem ser extraídas tanto dos resultados das simulações quanto da comparação entre os modelos. Por exemplo:

- A temperatura horária no interior da zona térmica cresce à medida que acrescentamos fontes de calor (cargas internas) à ZT\_1. O mesmo vale para a temperatura operativa. Ao comparar o modelo 1 com o modelo 3, note que o incremento dos sistemas de iluminação e da ocupação de pessoas resultou em um acréscimo de aproximadamente 0,57°C na temperatura média anual no interior do ambiente.

- Ademais, os três primeiros modelos naturalmente ventilados mostraram-se desconfortáveis. Esta avaliação pode ser feita: (i) subjetivamente, observando o comportamento da temperatura interna em relação à temperatura do ar externo (por meio de gráficos), ou (ii) analiticamente, pautado em indicadores de conforto específicos reconhecidos pela literatura.

A começar pelos gráficos, compare as médias de temperaturas no interior da ZT\_1, tanto entre si quanto em relação a de bulbo seco, no decorrer dos meses do ano. Os gráficos a seguir remetem aos meses de junho (inverno) e dezembro (verão).

Figura 184: Comparação entre as médias de temperatura do ar no interior da ZT\_1 ao longo de junho

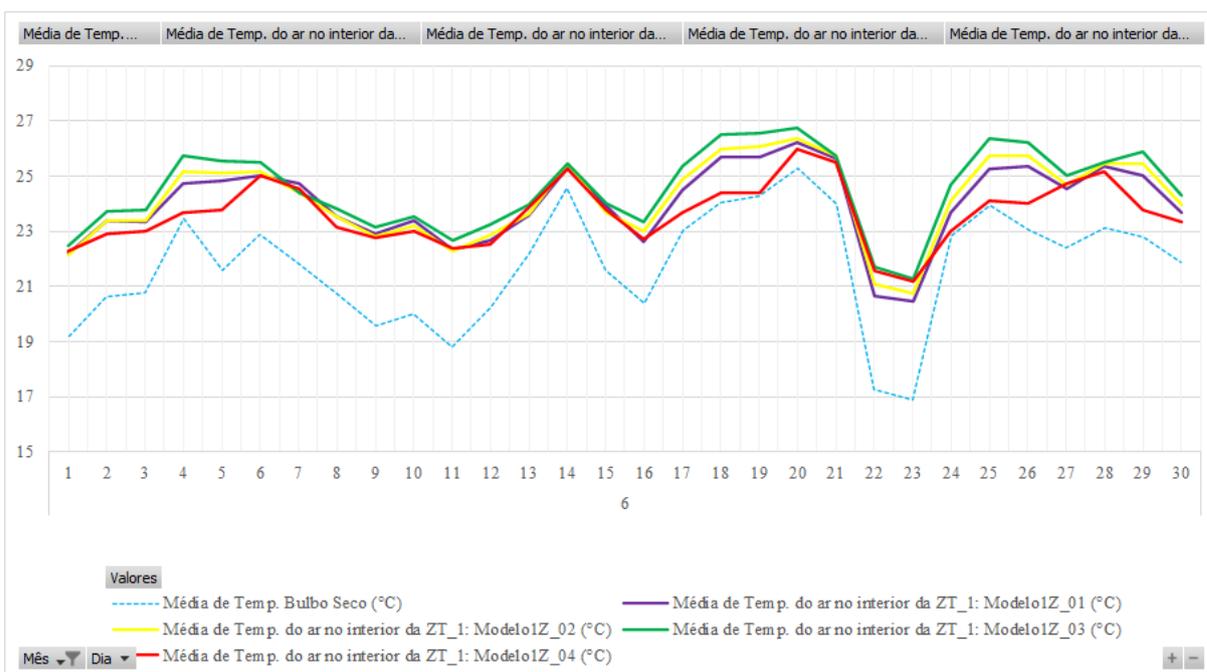
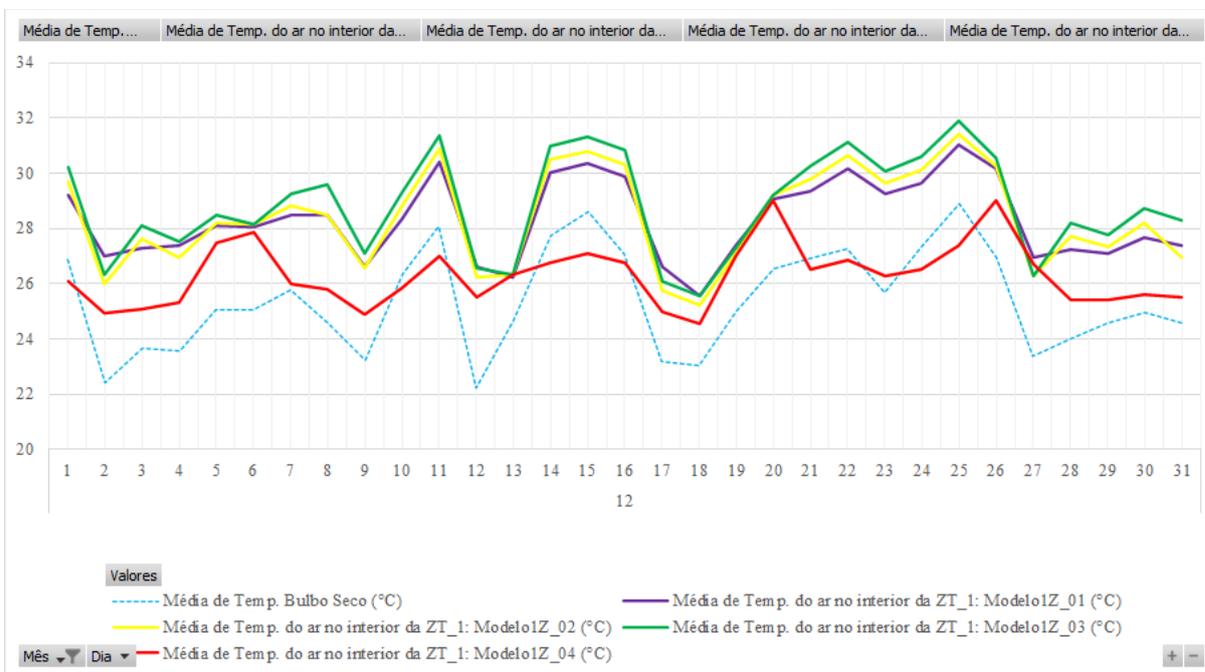


Figura 185: Comparação entre as médias de temperatura do ar no interior da ZT\_1 durante dezembro



Percebeu o aumento nos valores de temperatura do ar no interior da ZT\_1 à medida que foram incrementadas as cargas térmicas no modelo? Note também a disparidade existente entre o Modelo1Z\_04 em relação aos demais devido à adição de um sistema de condicionamento do ar para a zona térmica, reduzindo significativamente a temperatura interna da ZT\_1.

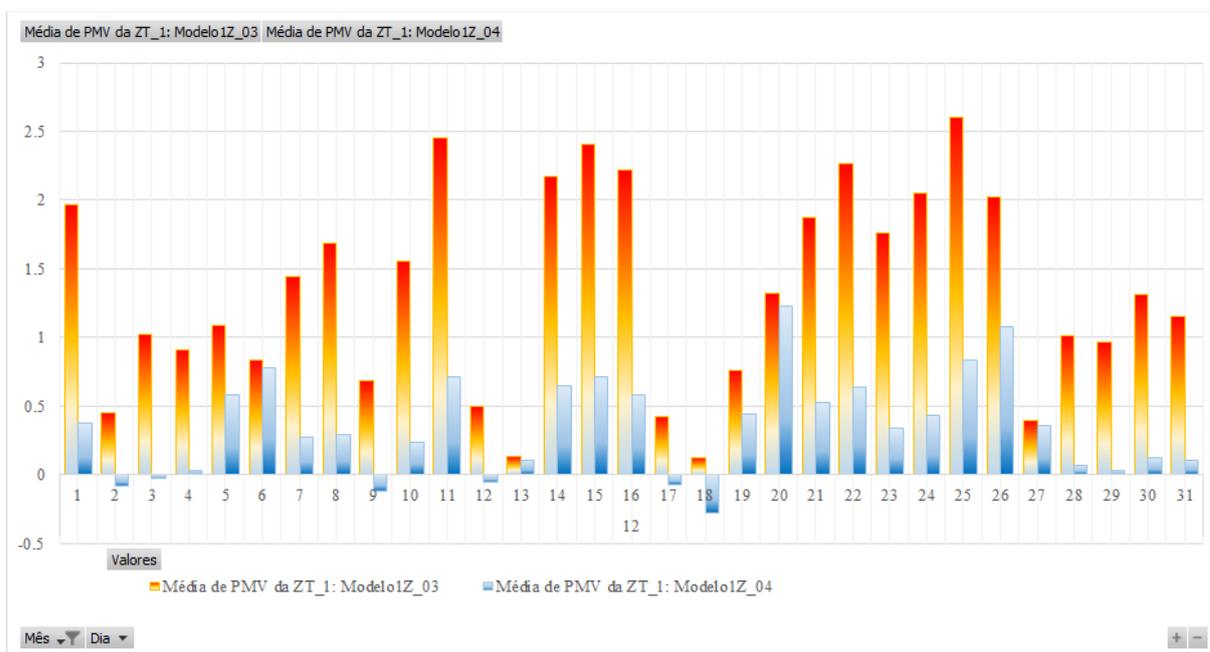
Como o modelo 4 é um desdobramento do terceiro, com a diferença do ar-condicionado, seguiremos com as comparações do desempenho térmico exibido pelos dois modelos.

Se estabelecermos uma “faixa” de conforto térmico dos ocupantes da ZT\_1 situada entre um PMV de  $-0,5$  até  $+0,5$ , o que, segundo diversos autores e normativas como a ISO 7730, considera-se como os limites aceitáveis de conforto (SANTOS, 2018), teremos que:

- No modelo 3, o total de horas que o PMV situa-se entre  $\pm 0,5$  corresponde a: 2.576h do ano. Diante disso, pode-se afirmar que em 6.184h (ou cerca de 70% das horas do ano) os ocupantes da zona térmica encontram-se em desconforto.
- No modelo 4, este total cai para 4.854h do ano (ou 55% do tempo) em que o valor do PMV é maior do que 0,5 ou menor do que -0,5, indicando que durante 3.906h os ocupantes da ZT\_1 estão em conforto térmico.

Abaixo, o valor médio do PMV ao longo do mês de dezembro.

Figura 186: Comparação das médias diárias de PMV dos Modelos1Z\_03 e 04 no mês de dezembro



Analise os valores horários de PPD que se encontram abaixo dos 10% (considerado um percentual aceitável para o conforto térmico, correspondente ao  $PMV \pm 0,5$ ). Qual o total de horas em que esta condição é satisfeita ao longo do ano? Ficou próxima ao total do PMV?

Outra saída requisitada no *Output:Variable* para ambos modelos foi o *Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model 80% Acceptability Status*. Conforme mencionamos, este parâmetro representa um *status* de conforto térmico segundo o modelo adaptativo da ASHRAE 55, o qual considera um nível de aceitabilidade de 80% entre os ocupantes da zona térmica para determinados valores de temperatura operativa. Este *status* vai de -1 a 1. Caso a temperatura operativa esteja dentro dos limites com 80% de aceitabilidade, o programa retornará o valor 1, se não, 0, e, caso a ocupação seja nula, -1.

Com base nisso, podemos verificar o total de horas em que o *status* 1 aparece e compará-lo com o total de zeros, descontando o total de horas em que a ZT\_1 está desocupada. Em alguns casos, tem-se valores fracionados (0,33, por exemplo), indicando que em uma fração da hora o valor de temperatura operativa estava dentro da zona de conforto térmico.

Sendo assim, pode-se afirmar que:

- O total de horas em que a ZT\_1 do Modelo1Z\_03 fica desocupada corresponde a 5.316h / ano, enquanto durante 3.444 h/ano há presença de pessoas.

- O total de horas em que a temperatura operativa encontra-se dentro dos limites da zona de conforto da ASHRAE 55 para 80% de aceitabilidade corresponde a 1.914h.
- O total de horas de desconforto na ZT\_1 é de 1.530h, ou seja, em cerca de 45% do tempo em que os usuários ocupam o ambiente, as condições térmicas não são aceitáveis, enquanto que em 55% do tempo, há uma aceitabilidade das condições internas. Note que os critérios do modelo adaptativo mostraram-se menos rigoroso que os critérios do PMV/PPD adotados para a ZT\_1. Cabe também pontuar que o modelo adaptativo da ASHRAE 55 é recomendado para ambientes naturalmente ventilados, embora o tenhamos utilizado no modelo 4 para exemplificação.

Ainda que estas considerações sejam bastante pertinentes para entendermos o impacto da adição de cargas internas e de um sistema de condicionamento artificial no ambiente, existem indicadores para avaliação do conforto térmico reconhecidos pela literatura, tais como os Graus Hora de Resfriamento ( $GHR$ ) e de Aquecimento ( $GHA$ ).

De acordo com as definições do RTQ-R, o  $GHR$  é resultado do somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base. O  $GHA$ , por sua vez, resulta da somatória da diferença entre a temperatura de base e a temperatura operativa horária quando esta é inferior à temperatura de base (BRASIL, 2012). Ou seja:

$$GHR = \sum (T_{Op} - T_{Base\ Sup.})$$

$$GHA = \sum (T_{Base\ Inf.} - T_{Op})$$

O RTQ-R recomenda uma temperatura de base igual a 26°C para cálculo do  $GHR$ . Já para o  $GHA$ , o manual não sugere nenhum valor. Diante disso, para a análise do desempenho da ZT\_1, utilizaremos como limites superior e inferior as temperaturas de 26°C e 20°C, sendo a “zona” de conforto o intervalo compreendido entre estes valores. Cabe pontuar que esta é uma decisão que cabe ao simulador, de modo que optamos por uma faixa não muito rigorosa. Então, ao comparar os modelos 3 e 4, verificou-se que:

Tabela 14: Resumo do total de Graus-Hora verificados ao longo do ano para os Modelos1Z\_03 e 04

| <b>Indicador</b>             | <b>Modelo1Z_03</b> | <b>Modelo1Z_04</b> | <b>Diferença</b> |
|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| <b><math>GHR</math> (°C)</b> | 17,349.93          | 9,490.10           | 45.30%           |
| <b><math>GHA</math> (°C)</b> | 347.42             | 356.54             | -2.63%           |

Logo, pode-se afirmar que o Modelo1Z\_04 teve um desempenho superior em relação ao Modelo1Z\_03 do ponto de vista do conforto térmico, com base no valor total de Graus-Hora de Resfriamento ao longo do ano, sendo a diferença entre um e outro modelo compreendida em cerca de 45% menos GHR para a ZT\_1 quando artificialmente condicionada, embora o total de Graus-Hora de Aquecimento tenha sido ligeiramente maior em relação ao modelo naturalmente ventilado. O gráfico a seguir compara os dois modelos em termos de valores diários e mensais de GHR computados ao longo do ano.

Figura 187: Comparação do total diário de GHR dos Modelos1Z\_03 e 04 no decorrer do ano

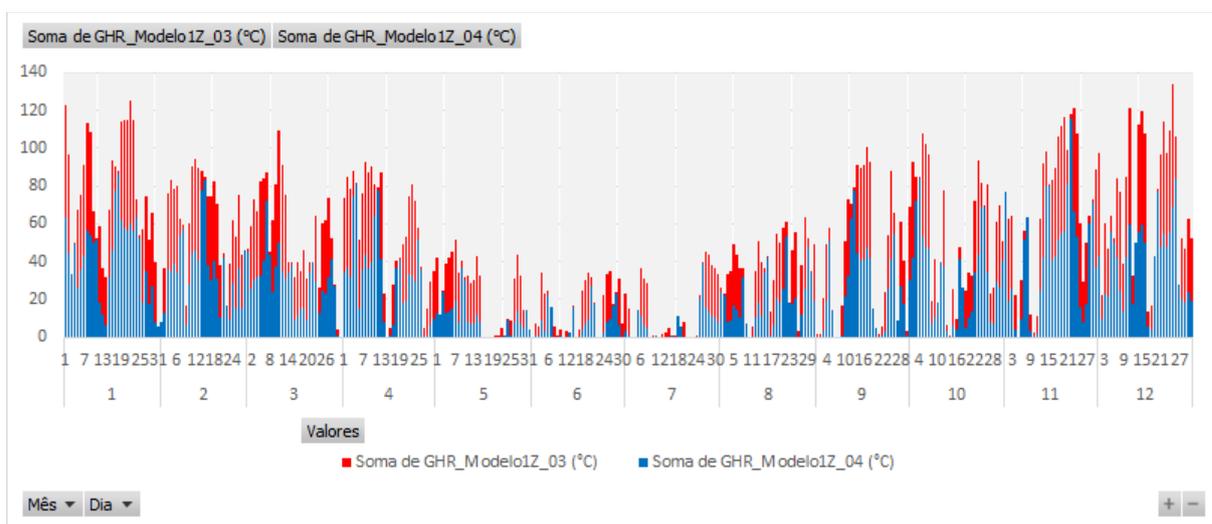
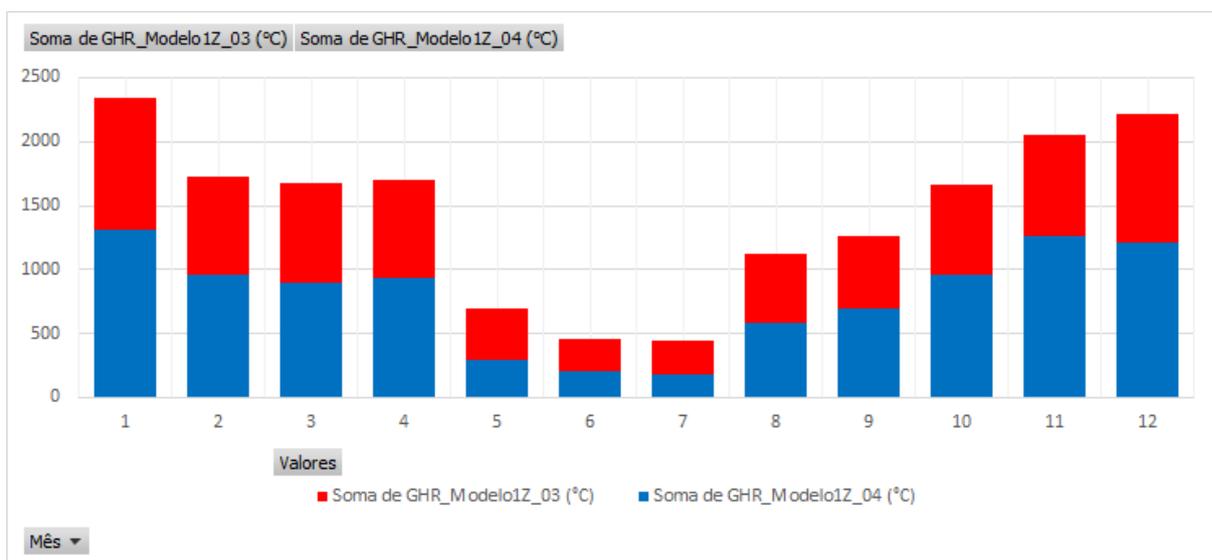


Figura 188: Comparação do total mensal de GHR dos Modelos1Z\_03 e 04 no decorrer do ano



Além disso, solicitamos três parâmetros exclusivos para o modelo 4: o *Zone Ideal Loads Supply Air Sensible Cooling Energy*, o *Zone Ideal Loads Supply Air Sensible Heating Energy* e o *Zone Ideal Loads Supply Air Mass Flow Rate*. Os dois primeiros *outputs* representam o total de energia térmica retirada do ambiente ou acrescentada ao ambiente, ou seja, as cargas térmicas de resfriamento e aquecimento da ZT\_1, sendo os dados de saída expressos em Joules. O último, por sua vez, representa a taxa de ar insuflada pelo ar-condicionado (em m<sup>3</sup>/s) para dentro do ambiente. Pois bem, e como utilizaremos estas variáveis em nossas análises?

Simples, “perturbando” o modelo 4, ou seja, alterando os dados de entrada dos campos de alguns objetos específicos e vendo como se comporta a ZT\_1. Por exemplo, (imagine que) você é um engenheiro mecânico que deseja tornar o sistema de condicionamento de ar da ZT\_1 mais eficiente. Logo, você poderia testar diversas possibilidades modificando os parâmetros do ar-condicionado, simulá-los, reunir os resultados, analisá-los, verificar quais as configurações que surtiriam o efeito desejado para redução da carga térmica, redução do consumo de energia, aumento do conforto dos usuários e assim por diante.

No caso de nosso exemplo, esta “perturbação” do modelo se dará pela alteração de certas propriedades térmicas e substituição de alguns materiais e componentes construtivos da ZT\_1, tomando como base o Modelo1Z\_04. Para analisar os efeitos produzidos, consideremos três cenários:

- No primeiro, será modificada a absorptância solar e visível das paredes e da cobertura para 0,2, representando algo como se houvésssemos pintado as fachadas e o telhado de branco. Frente ao exposto, configure os campos dos objetos do *Material* do Modelo1Z\_04 que remetem a estas propriedades (Figura 189) e, então, salve como “Modelo1Z\_05a” e simule-o.

Figura 189: Configurando os novos valores de absorptância solar e visível do Modelo1Z\_05a

| Field               | Units  | Obj1            | Obj2          | Obj3          | Obj4          | Obj5             | Obj6      |
|---------------------|--------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-----------|
| Name                |        | concreto_parede | concreto_laje | concreto_piso | ceramica_piso | ceramica_telhado | aco_porta |
| Roughness           |        | Rough           | Rough         | Rough         | Rough         | Rough            | Smooth    |
| Thickness           | m      | 0.1             | 0.08          | 0.1           | 0.01          | 0.01             | 0.01      |
| Conductivity        | W/m-K  | 1.75            | 1.75          | 1.75          | 0.9           | 0.9              | 55        |
| Density             | kg/m3  | 2200            | 2400          | 2400          | 1200          | 1000             | 7800      |
| Specific Heat       | J/kg-K | 1000            | 1000          | 1000          | 920           | 920              | 460       |
| Thermal Absorptance |        | 0.9             | 0.9           | 0.9           | 0.9           | 0.9              | 0.9       |
| Solar Absorptance   |        | 0.2             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.2              | 0.3       |
| Visible Absorptance |        | 0.2             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.2              | 0.3       |

- Para o segundo caso, repita o procedimento anteriormente descrito, mas agora considerando que as absorptâncias solar e visível correspondem a 0,8, simulando algo como se as paredes e o telhado houvessem sido pintados de cinza ou azul profundo. Ao modelo resultante, nomeamos como “Modelo1Z\_05b”.

Figura 190: Configurando os novos valores de absorptância solar e visível do Modelo1Z\_05b

| Field               | Units  | Obj1            | Obj2          | Obj3          | Obj4          | Obj5             | Obj6      |
|---------------------|--------|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-----------|
| Name                |        | concreto_parede | concreto_laje | concreto_piso | ceramica_piso | ceramica_telhado | aco_porta |
| Roughness           |        | Rough           | Rough         | Rough         | Rough         | Rough            | Smooth    |
| Thickness           | m      | 0.1             | 0.08          | 0.1           | 0.01          | 0.01             | 0.01      |
| Conductivity        | W/m-K  | 1.75            | 1.75          | 1.75          | 0.9           | 0.9              | 55        |
| Density             | kg/m3  | 2200            | 2400          | 2400          | 1200          | 1000             | 7800      |
| Specific Heat       | J/kg-K | 1000            | 1000          | 1000          | 920           | 920              | 460       |
| Thermal Absorptance |        | 0.9             | 0.9           | 0.9           | 0.9           | 0.9              | 0.9       |
| Solar Absorptance   |        | 0.8             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.8              | 0.3       |
| Visible Absorptance |        | 0.8             | 0.6           | 0.6           | 0.6           | 0.8              | 0.3       |

- No terceiro cenário, modificaremos a parede de concreto do Modelo1Z\_04 para uma parede dupla de cerâmica isolada termicamente. Para tanto, foram criados os materiais correspondentes no *Material*:

Figura 191: Criando dois novos materiais no *Material* para o Modelo1Z\_05c

| Field               | Units  | Obj7                  | Obj8                    |
|---------------------|--------|-----------------------|-------------------------|
| Name                |        | ceramica_parede_dupla | isolamento_parede_dupla |
| Roughness           |        | Rough                 | Rough                   |
| Thickness           | m      | 0.08                  | 0.05                    |
| Conductivity        | W/m-K  | 0.9                   | 0.04                    |
| Density             | kg/m3  | 1200                  | 35                      |
| Specific Heat       | J/kg-K | 920                   | 1420                    |
| Thermal Absorptance |        | 0.9                   | 0.9                     |
| Solar Absorptance   |        | 0.3                   | 0.6                     |
| Visible Absorptance |        | 0.3                   | 0.6                     |

Depois, o novo componente foi definido camada por camada no *Construction* e, então, a parede dupla foi atribuída às superfícies das fachadas norte, sul, leste e oeste da zona térmica no *BuildingSurface:Detailed*, conforme ilustrado nas Figuras 192 e 193. O modelo resultante foi nomeado como “Modelo1Z\_05c”.

Uma vez que todos foram configurados, simule os três cenários e reúna os dados dos arquivos .csv em uma planilha do *Excel* para análise dos resultados.



**DICA!!!** Você pode simular todos os arquivos *.idf* de uma só vez por meio do *Group of Input Files*, localizado próximo ao menu superior do *EP-Launch*. Para tanto, clique sobre **Group of Input Files** e crie um novo grupo em *Group File*. Localize a pasta que contém os *.idf*s e selecione aqueles que você quer simular concomitantemente. Do mesmo modo, selecione a pasta e o arquivo climático de entrada e, então, gere o grupo de simulação (o programa lhe dá a opção de salvá-los em uma nova pasta). Em seguida, clique sobre o botão *Simulate Group...* e, pronto! Todos os arquivos serão simulados de uma vez.

Figura 192: Criando um novo componente construtivo no *Construction* para o Modelo1Z\_05c

| Field         | Units | Obj6                    |
|---------------|-------|-------------------------|
| Name          |       | parede_dupla            |
| Outside Layer |       | ceramica_parede_dupla   |
| Layer 2       |       | isolamento_parede_dupla |
| Layer 3       |       | ceramica_parede_dupla   |
| Layer 4       |       |                         |
| Layer 5       |       |                         |
| Layer 6       |       |                         |
| Layer 7       |       |                         |
| Layer 8       |       |                         |
| Layer 9       |       |                         |
| Layer 10      |       |                         |

Figura 193: Atribuindo o novo componente às superfícies correspondentes no Modelo1Z\_05c

| Field                             | Units | Obj1        | Obj2         | Obj3         | Obj4         | Obj5         | Obj6   |
|-----------------------------------|-------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Name                              |       | Cobertura   | Parede_L     | Parede_N     | Parede_O     | Parede_S     | Piso   |
| Surface Type                      |       | Roof        | Wall         | Wall         | Wall         | Wall         | Floor  |
| Construction Name                 |       | cobertura   | parede_dupla | parede_dupla | parede_dupla | parede_dupla | piso   |
| Zone Name                         |       | ZT_1        | ZT_1         | ZT_1         | ZT_1         | ZT_1         | ZT_1   |
| Outside Boundary Condition        |       | Outdoors    | Outdoors     | Outdoors     | Outdoors     | Outdoors     | Ground |
| Outside Boundary Condition Object |       |             |              |              |              |              |        |
| Sun Exposure                      |       | SunExposed  | SunExposed   | SunExposed   | SunExposed   | SunExposed   | NoSun  |
| Wind Exposure                     |       | WindExposed | WindExposed  | WindExposed  | WindExposed  | WindExposed  | NoWind |
| View Factor to Ground             |       |             |              |              |              |              |        |
| Number of Vertices                |       |             |              |              |              |              |        |
| Vertex 1 X-coordinate             | m     | 6           | 6            | 6            | 0            | 0            | 6      |
| Vertex 1 Y-coordinate             | m     | 0           | 0            | 6            | 6            | 0            | 6      |
| Vertex 1 Z-coordinate             | m     | 3.5         | 3.5          | 3.5          | 3.5          | 3.5          | 0      |
| Vertex 2 X-coordinate             | m     | 6           | 6            | 6            | 0            | 0            | 6      |
| Vertex 2 Y-coordinate             | m     | 6           | 0            | 6            | 6            | 0            | 0      |
| Vertex 2 Z-coordinate             | m     | 3.5         | 0            | 0            | 0            | 0            | 0      |
| Vertex 3 X-coordinate             | m     | 0           | 6            | 0            | 0            | 6            | 0      |
| Vertex 3 Y-coordinate             | m     | 6           | 6            | 6            | 0            | 0            | 0      |
| Vertex 3 Z-coordinate             | m     | 3.5         | 0            | 0            | 0            | 0            | 0      |
| Vertex 4 X-coordinate             | m     | 0           | 6            | 0            | 0            | 6            | 0      |
| Vertex 4 Y-coordinate             | m     | 0           | 6            | 6            | 0            | 0            | 6      |
| Vertex 4 Z-coordinate             | m     | 3.5         | 3.5          | 3.5          | 3.5          | 3.5          | 0      |

Com base nos três cenários modificados a partir do Modelo1Z\_04, foram realizadas comparações entre: (i) o modelo base e os modelos 5a e 5b, visto que estes são idênticos, a não ser pela modificação das absorptâncias solar e visível; e (ii) todos os modelos, a fim de verificar se as intervenções surtiram algum efeito positivo no modelo base e qual das alternativas exibiu o melhor desempenho.

Diante disso, verificou-se que a simples modificação dos valores de absorptância solar e visível do modelo 04 impactaram significativamente no total anual das cargas térmicas de refrigeração e aquecimento da ZT\_1 ao longo do ano. Note que, ao “pintarmos” a cobertura e as paredes de branco, a carga térmica de resfriamento do ambiente foi reduzida em cerca de 43% quando comparada ao modelo base, enquanto que ao pintarmos de azul ou cinza, a carga térmica de refrigeração da ZT\_1 aumenta em torno de de 59%.

Ademais, comparando todos os cenários, nota-se que “parede pesada” do modelo 05c reduziu as carga térmicas com refrigeração e aquecimento da ZT\_1 em relação às paredes de concreto convencional do modelo base, algo em torno de 878,31 KWh/ano. Entretanto, pintar a ZT\_1 de branco produziu um maior efeito na redução da carga térmica com refrigeração do que a substituição do sistema construtivo como um todo, conforme pode ser observado abaixo.

Tabela 15: Resumo das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento para todos os modelos da ZT\_1

| Parâmetro                                  | Unid. | Modelos   |           |          |          |
|--------------------------------------------|-------|-----------|-----------|----------|----------|
|                                            |       | 04 (base) | 05a       | 05b      | 05c      |
| Total anual de Carga Térm. Resf. (CTR)     | KWh   | 4,060.24  | 2,295.73  | 6,440.64 | 3,181.93 |
| Total anual de Carga Térm. Aquec. (CTA)    | KWh   | 3.22      | 5.51      | 2.10     | 0.00     |
| Diferença de CTR em relação ao modelo base | KWh   | 0.00      | -1,764.52 | 2,380.40 | -878.31  |
| Diferença de CTA em relação ao modelo base | KWh   | 0.00      | 2.29      | -1.12    | -3.22    |
| Diferença de CTR em relação ao modelo base | %     | 0.00      | -43.46    | 58.63    | -21.63   |
| Diferença de CTA em relação ao modelo base | %     | 0.00      | 71.26     | -34.84   | -100.00  |

**OBSERVAÇÃO!!!** Os dados horários das cargas térmicas retornados pelo *EnergyPlus*<sup>TM</sup> são expressos em Joules. Para fazer a conversão para KWh, basta dividir o resultado por 3.600.000. Contudo, estes valores não representam o consumo de energia com resfriamento / aquecimento da ZT\_1, mas sim uma energia térmica, pois, lembrando, estamos tratando de um ar-condicionado “ideal”. Então, para ter uma ideia do quanto seria este consumo, deve-se dividir o total de carga térmica pelo *Coefficient Of Performance* (COP) do ar-condicionado.



Com base nesta “Observação”, suponha que se o aparelho de ar-condicionado instalado na ZT\_1 é bastante eficiente (de nível A), com um coeficiente de desempenho COP igual a 4,0, então, a rigor, o consumo de eletricidade com refrigeração no modelo base seria na ordem de 1.000 KWh/ano, ou uma média mensal de quase 85 KWh. Ao pintarmos de branco a ZT\_1, este consumo cai para aproximadamente 48 KWh/mês.

A Figura 194 apresenta o total diário de carga térmica de refrigeração para os modelos 4, 5a e 5b (valores em Joules). A Figura 195, por sua vez, engloba todas as variações do modelo de base, comparando o total mensal de carga térmica de resfriamento ao longo do ano. Ambas ajudam a visualizar os efeitos gerados pelas intervenções no desempenho final da ZT\_1.

Figura 194: Comparação do total diário de carga térmica de resfriamento entre os modelos 4, 5a e 5b

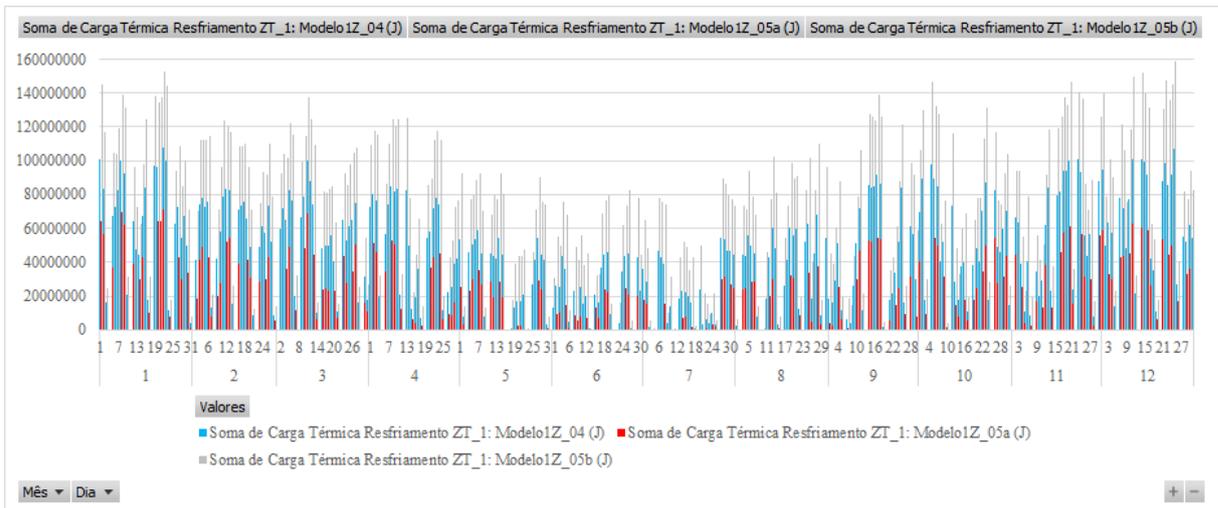
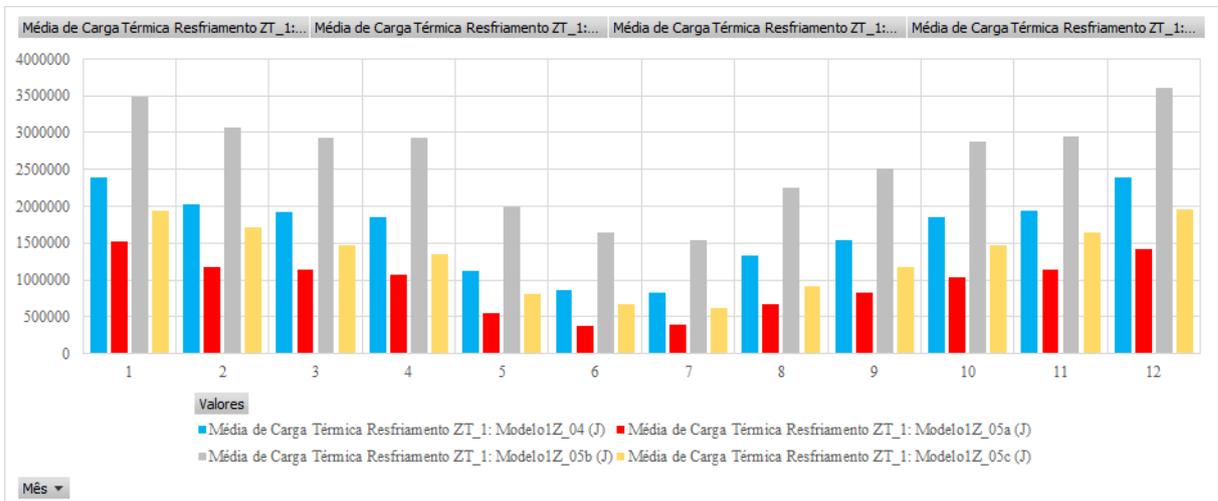


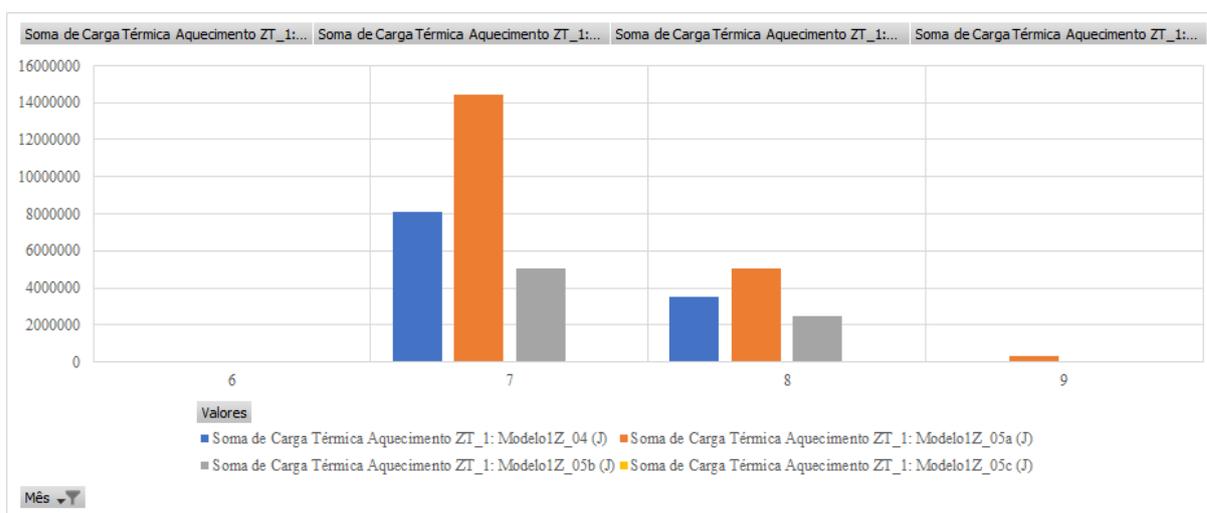
Figura 195: Comparação do total mensal de carga térmica de refrigeração dos modelos 4, 5a, 5b e 5c



Com relação ao aquecimento, o modelo 5a apresentou o maior valor de carga térmica com aquecimento/ano, justamente pelo fato de que, ao pintarmos a ZT\_1 de branco, reduziu-se a absorção de calor pelas superfícies da envoltória, demandando mais aquecimento nos períodos de inverno. Já os modelos 5b e 5c, conforme esperado, tiveram os melhores desempenhos. Ao pintarmos a ZT\_1 de cinza, elevou-se o ganho de calor por meio das superfícies da envoltória, reduzindo a necessidade de aquecimento durante o inverno. A substituição da parede original por um sistema isolado termicamente, por sua vez, teve como resultado uma carga térmica nula, isto é, sem a necessidade de aquecimento do ambiente ao longo do ano.

A Figura 196 apresenta os totais de carga térmica com aquecimento da ZT\_1 para os meses de inverno (valores em Joules).

Figura 196: Comparação do total de carga térmica de aquecimento dos modelos 4, 5a, 5b e 5c durante os meses de inverno



Em que pese o desempenho inferior do modelo 05a no inverno, deve-se ponderar com que tipo de clima se está trabalhando e quais as estratégias mais recomendadas para promover conforto aos usuários na maior parte do tempo. Outrossim, deve ser levado em consideração a viabilidade financeira, a exequibilidade e o impacto ambiental produzido em cada intervenção, entre outros diversos aspectos.

Em nosso caso de estudo, por exemplo, sabemos, do Módulo II, que Campo Grande/MS é um município em que os dias quentes são preponderantes aos dias mais frios ao longo do ano. Além disso, não é preciso ser um *expert* para deduzir que “pintar” as fachadas e cobertura de

branco é mais viável (tanto financeiramente quanto do ponto de vista executivo) do que demolir as paredes originais e construir todo um novo sistema isolado termicamente.

Em face do exposto, a solução proposta no Modelo1Z\_05a mostrou-se a mais adequada para melhorar as condições de conforto térmico e desempenho energético na ZT\_1.

## AGORA É COM VOCÊ

---

É hora de praticar!!! Modele, configure, simule uma zona térmica no *EnergyPlus™* e analise os resultados obtidos. Considere as seguintes instruções para a realização desta atividade.



### Modelagem da Geometria

- I) A zona térmica possui dimensões de 8m x 4m x 3m (comprimento x largura x pé direito). A maior fachada deve estar voltada para o eixo Norte-Sul.
- II) Modele uma janela de 4m x 1m x 1m (largura x altura x peitoril) na maior fachada (voltada para o Norte geográfico) e outra janela também de 4m x 1m x 1m (largura x altura x peitoril) na fachada Sul. A área das janelas se refere à área translúcida.
- III) Não modele portas.

### Clima

- IV) Baixe o arquivo climático de Brasília-DF do tipo TMY (formatos *.epw* e *.ddy*).
- V) Considere as temperaturas do solo médias mensais na medição mais profunda do arquivo climático.
- VI) Copie a localização do arquivo *.ddy*.
- VII) Copie os dias típicos do arquivo *.ddy*, sendo o segundo e o oitavo objetos (um de inverno e outro de verão).

### Materiais e componentes construtivos

- VIII) Para as paredes, considere um componente em série de: concreto + câmara de ar + concreto. Para o concreto, considere uma espessura de 8cm, condutividade térmica de 1,75 W/mK, calor específico de 1.000 J/kgK, massa específica de 2.400 kg/m<sup>3</sup>.

Para a câmara de ar, considere 0,21 m<sup>2</sup>K/W de resistência térmica. Na face externa, considere absorptâncias solar e visível de 0,50.

- IX) Para a cobertura, considere um componente em série de: cerâmica + câmara de ar + laje de concreto. Para a cerâmica, considere espessura de 1cm, condutividade térmica de 0,70 W/mK, calor específico de 920 J/kgK, massa específica de 1.000 kg/m<sup>3</sup>, absorptâncias solar e visível de 0,40. Para o concreto, considere espessura de 8 cm, condutividade térmica de 1,75 W/mK, calor específico de 1.000 J/kgK, massa específica de 2.200 kg/m<sup>3</sup>. Para a câmara de ar, considere 0,61 m<sup>2</sup>K/W de resistência térmica.
- X) Para o piso, considere um componente em série de: concreto + cerâmica. Para o concreto, considere espessura de 10 cm, condutividade térmica de 1,75 W/mK, calor específico de 1.000 J/kgK, massa específica de 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Para a cerâmica, considere uma espessura de 1 cm, condutividade térmica de 0,9 W/mK, calor específico de 920 J/kgK, massa específica de 1.200 kg/m<sup>3</sup>, absorptância solar e visível de 0,60.
- XI) Para as janelas, considere o material *CLEAR 6MM*, disponível no *dataset* do *EnergyPlus™*. Para obter os dados deste objeto, acesse o menu *File* a partir do *IDF Editor*, clique em *Open Dataset > WindowGlassMaterial.idf*. Procure o *CLEAR 6MM* e copie para o modelo.

### Configurações gerais

- XII) Simular para o ano todo, fazendo o dimensionamento da carga térmica do sistema AVAC.
- XIII) Considere um terreno no subúrbio e a distribuição solar como “*FullExterior*”.
- XIV) Considere um *timestep* igual a 10.
- XV) Não considere indicadores de neve do arquivo climático; não considere feriados.
- XVI) Para os demais parâmetros, considere os valores *default* do *EnergyPlus™*.

### Cargas internas:

- XVII) Considere somente cargas internas de equipamentos, com 20W/m<sup>2</sup> e fração radiante de 0,50.

XVIII) Considere a mesma rotina de uso por todos os dias do ano, como sendo de fração 100% das 7h às 17h, e de fração 10% nos demais horários.

### **Sistema AVAC**

XIX) Considere um termostato com temperaturas de 24°C para resfriamento e 18°C para aquecimento.

XX) Modele um sistema do tipo *Packaged Terminal Air Conditioner* (PTAC), sendo a carga térmica e o fluxo de ar dimensionados pelo programa. Considere um fator de dimensionamento para o resfriamento e aquecimento igual a 1,5.

XXI) Considere uma tomada de ar externo de 0,002 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>.

XXII) O sistema de resfriamento deverá funcionar nos mesmos horários de uso de equipamentos (das 7h às 17h). O sistema de aquecimento deve ficar desligado o ano todo (valor da rotina igual a zero).

XXIII) Considerar a serpentina de resfriamento com COP de 3,2 e temperatura de insuflamento de ar de 14°C.

XXIV) Para os demais parâmetros, considere os valores default do *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

### **Parâmetros de saída**

XXV) Como variáveis de saída, pedir os valores horários da temperatura de bulbo seco externa, da temperatura operativa e do consumo total de energia com AVAC.

### **Observações:**

Você pode estar se perguntando: como configurar o *HVACTemplate:Zone:PTAC*, se não estudamos nenhum objeto desta classe no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>? Este é um “desafio”. Busque pelas informações nos manuais de referência do programa para entender o que é requisitado em cada campo do PTAC.

Também não serão mostradas capturas de tela no Gabarito, como fizemos outrora. Neste caso, disponibilizaremos apenas um gráfico contendo o consumo de energia com resfriamento, expresso em KWh/mês. Temos a consciência de que atingir os resultados exatos pode ser uma tarefa difícil, mas não impossível. É plausível assumir, portanto que você será capaz de obter resultados bastante próximos aos valores constantes no Gabarito (com uma precisão de 97%). E, se os resultados estiverem muito distantes, não desanime. Errar é uma oportunidade para a excelência. Então, revise os conteúdos, faça os ajustes no modelo ou, ainda, inicie tudo do zero, se necessário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401 – Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/CIE 8995 – Iluminação de ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

ANDERSEN, R. K.; FABI, V.; CORGNATI, S. P. Predicted and Actual Indoor Environmental Quality: verification of occupants' behaviour models in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 127, p. 105-115, 2016.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. 2017.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2017.

BALVEDI, B. F.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A review of occupant behaviour in residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 174, p. 495-505, 2018.

BALVEDI, B. F. *et al.* Identificação de perfis de comportamento do usuário para edificações residenciais multifamiliares e naturalmente ventiladas em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 149-160, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Anexo da Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). 2012.

CARLUCCI, S. *et al.* Modeling occupant behavior in buildings. **Building and Environment**, v. 174, p. 106768, 2020.

CPTEC-INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/> >. Acesso em: 16/11/2020.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus™ Version 8.3 Documentation**. 2014.

DOE. U. S. Department of Energy. **Getting Started – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020a.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020b.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ELETOBRAS-PROCEL. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH/BRASIL)**. 2019.

ELI, L. G. *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto GROUND DOMAIN no programa ENERGYPLUS – Versão 9.0.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2019.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >.

GAETANI, I. I. A. A. **A strategy for fit-for-purpose occupant behavior modelling in building energy and comfort performance simulation**. Tese (Doutorado) - Technische Universiteit Eindhoven (Universidade Tecnológica de Eindhoven), Eindhoven, 2019.

HOES, P. *et al.* User behavior in whole building simulation. **Energy and buildings**, v. 41, n. 3, p. 295-302, 2009.

IEA-EBC. International Energy Agency – Energy in Buildings and Communities Programme. **Total Energy Use in Buildings: Analysis and Evaluation Methods (Annex 53)**. Editado por: Hirosh Yoshino e Shuqin Chen. Saint Albans: AECOM Ltd., 2016.

ISO. International Organization for Standardization. **Standard 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. 2005.

KARJALAINEN, S. Should we design buildings that are less sensitive to occupant behaviour? A simulation study of effects of behaviour and design on office energy consumption. **Energy Efficiency**, v. 9, n. 6, p. 1257-1270, 2016.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2002.

MAZZAFERRO, Leonardo *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador SLAB no programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEEE/UFSC. Florianópolis, 2013.

MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto GROUND DOMAIN no programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEEE/UFSC. Florianópolis, 2015.

MELO, A. P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

OPENSTUDIO®. Programa de simulação computacional de energia, versão 3.1.0. Disponível em: <<https://www.openstudio.net/downloads>>.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GÜTHS, S. **Transferência de calor na envoltória da edificação.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEEE/UFSC. Florianópolis, 2008.

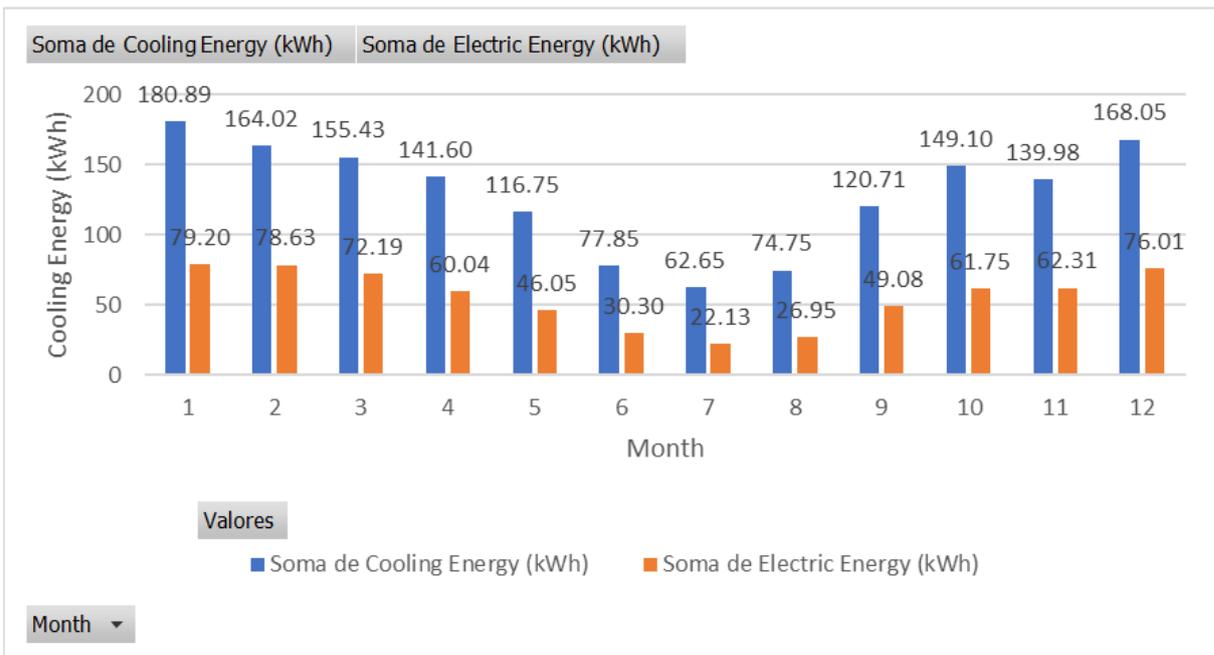
SANTOS, J. B. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido.** 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 381-391, 2014.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

# GABARITO

Figura 197: Total mensal de energia térmica com refrigeração e consumo de energia com refrigeração



# **APÊNDICE**

---

## **DO MÓDULO II**

## APLICAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

---

Quanto mais detalhados e precisos forem os dados de arquivos climáticos, maior será a confiabilidade dos parâmetros de saída e, conseqüentemente, dos resultados pós-simulação. Em contrapartida, quanto menor a qualidade dos dados de clima, menos confiáveis poderão ser os resultados das simulações (SCHELLER *et al.*, 2015).

Além disso, a simulação com o uso de arquivos climáticos representativos de um local permite identificar os períodos de maior probabilidade de conforto dos usuários da edificação e definir as melhores estratégias de arquitetura em prol do desempenho térmico e energético do edifício. Nesse sentido, Lamberts *et al.* (2016) destacam a importância do estudo das relações entre o clima e os seres vivos, o qual dá-se por meio da bioclimatologia.

Esse ramo da ciência tem aplicação em diversas áreas, dentre as quais está a arquitetura. Diante disso, a arquitetura bioclimática pode ser entendida como a busca pela harmonia entre o ambiente construído e os recursos naturais disponíveis (luz solar e vento, por exemplo), a fim de proporcionar conforto aos ocupantes das edificações. Como forma de adequar a arquitetura às condições climáticas locais, Olgyay (1973) cunhou a expressão “Projeto Bioclimático”.

De fato, as crescentes preocupações com o consumo energético do ambiente construído demandam a aplicação de alternativas de projeto para mitigar a dependência dos equipamentos de condicionamento artificial do ar (VETTORAZZI; RUSSI; SANTOS, 2010). As estratégias que fazem uso da climatização natural são também chamadas de estratégias passivas<sup>29</sup>.

Segundo Campos-Navarro (2007), para que sejam definidas as estratégias bioclimáticas, usualmente são levadas em consideração parâmetros como a geometria do edifício, a disposição das aberturas, o desempenho térmico dos materiais e as variáveis climáticas de radiação solar, temperatura do ar, umidade e a velocidade e direção do vento.

A seguir, são fixadas algumas notas das principais variáveis climáticas de interesse do projeto bioclimático. O exposto é um resumo extraído de Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

---

<sup>29</sup> Em geral, os termos “estratégias de projeto passivo”, “estratégias passivas de conforto”, “estratégias de projeto bioclimático”, “estratégias de arquitetura bioclimática” ou simplesmente “estratégias bioclimáticas” são utilizados sinonimicamente na literatura.



## *Radiação solar*

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta, principal fonte de energia no planeta.

A trajetória elíptica da Terra em torno do Sol, em conjunto com o movimento de rotação do planeta determinam as variações na intensidade da radiação ao longo do ano e durante o dia, respectivamente. Já o movimento de translação da Terra é responsável pelas estações do ano.

Ao atingir a atmosfera terrestre, a radiação solar divide-se entre a porção direta e difusa. A radiação direta é a parcela que atinge diretamente a terra, enquanto que a radiação difusa corresponde à parcela que sofre um espalhamento pelas nuvens, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens e irradiada para a terra.

Um céu muito nublado pode apresentar uma parcela de radiação difusa maior que a parcela direta, e um “céu claro” apresenta uma parcela maior da radiação direta.

Diante disso, em climas mais frios, a penetração da radiação direta nos ambientes internos é desejável para promover aquecimento, enquanto que em locais cujo clima predominante é quente, a parcela direta deve ser evitada, sendo a radiação difusa desejável para promover a iluminação do ambiente.



## *Temperatura do ar*

Talvez você não saiba, mas temperatura do ar não é consequência da ação direta dos raios do sol, uma vez que o ar é transparente a todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas.

Na realidade, o processo ocorre indiretamente: ao atingir o solo, a radiação solar é, em parte, absorvida e transformada em calor. Como consequência, a temperatura do solo aumenta e, por convecção, aquece o ar.

A temperatura do ar, portanto, depende do coeficiente de absorção da superfície receptora, da condutividade e a capacidade térmica do solo e perdas por evaporação, convecção e radiação.

A temperatura do ar começa a elevar-se ao “nascer” do Sol e atinge seu ápice duas horas após a passagem do Sol pelo meridiano. A partir deste momento, o balanço energético passa a ser negativo: a energia perdida (especialmente por radiação em direção às camadas mais altas da atmosfera) passa a ser maior que a recebida. Então, conforme avança o tempo, a temperatura da superfície vai reduzindo até alcançar o valor mínimo pouco antes do nascer do Sol.

É possível conhecer o comportamento da temperatura de um local a partir da amplitude térmica (diferença entre valores máximos e mínimos em um determinado período de tempo). Como a amplitude depende da umidade do ar, em regiões mais úmidas a amplitude é pequena, enquanto que em localidades mais secas a variação da temperatura é maior.

Diante do exposto, fica mais fácil compreender o porquê de regiões desérticas do globo serem conhecidas pela grande amplitude térmica (entre dia e noite). Lembre-se que o deserto está relacionado à baixa umidade.

### *Umidade do ar*

A maior parte da radiação solar absorvida pelos oceanos é liberada na atmosfera em forma de vapor de água. O vapor d'água transforma-se em umidade do ar e esta é regulada pela vegetação (evapotranspiração) e pelas fontes de água (córregos, rios, lagos, mares), pela topografia, ocupação urbana e ação humana.

Assim como a umidade influencia na amplitude térmica, a temperatura influencia na quantidade de vapor d'água contido no ar. Logo, se a temperatura aumenta, haverá mais vapor de água no ar. Então, a umidade relativa representa a razão entre a quantidade de vapor de água contido numa porção da atmosfera com a quantidade máxima de vapor de água que a atmosfera pode suportar em determinada temperatura.

A umidade é bastante atuante na sensação térmica humana, razão pela qual alguns locais muito úmidos podem ser percebidos como frios no inverno e demasiado quentes no verão. Um exemplo é o município histórico de Morretes, no Paraná, que, conforme o próprio nome sugere, é cercado por morros, os quais barram os ventos e concentram a umidade “dentro” da cidade.

## Velocidade e direção do vento

O aquecimento desigual do planeta pela radiação solar gera energia potencial, parte da qual se transforma em energia cinética em decorrência da elevação do ar mais quente nas regiões próximas à linha do equador, abrindo caminho para a entrada do ar frio norte-sul.

O vento também é influenciado pela relação entre o mar e a terra, pela altitude, topografia e rugosidade local (incluindo o solo, a vegetação existente e, em certos casos, a concentração de edifícios verticais).

Observe como esses parâmetros atuam. Por exemplo, em regiões costeiras, durante o dia, o movimento do ar acontece do mar para a terra, visto que o solo aquece mais rápido que o mar, o ar quente sobe e dá lugar ao ar mais fresco. Já durante a noite, o ar flui da terra para o mar, pois a terra resfria mais rápido, ao passo que a água (que armazenou calor durante o dia todo) aquece o ar, permitindo sua subida e recendo o ar fresco vindo da terra.

Regiões cuja topografia é acidentada alteram a direção e velocidade do vento. Assim, dependendo do relevo, o fluxo do vento pode ser “canalizado” e ter sua velocidade aumentada. A rugosidade do solo, por sua vez, refreia a ação do vento, reduzindo sua velocidade.



**Para mais detalhes** das variáveis climáticas para o projeto de arquitetura passiva, consulte o manual de Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a partir da página 71. Nele, você poderá encontrar descrições mais completas e ilustrações relativas a cada parâmetro.

## 5.1 ATUAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO CONFORTO HUMANO

Segundo a *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2013), conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa.

As exigências dos seres humanos quanto ao conforto térmico abrange diversos aspectos, desde as condições climáticas a que estão submetidos, a vestimenta que utilizam, a atividade que estão realizando, o metabolismo, as características fisiológicas e morfológicas, a adaptação ao local, além de questões culturais, étnicas, de gênero, idade etc. (FROTA; SCHIFFER, 2001).

No que concerne às variáveis climáticas elencadas neste capítulo, a temperatura do ar é um dos principais parâmetros responsivos do conforto térmico dos indivíduos. Isso porque a sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo através da diferença de temperatura entre a pele e o ar. As massas de ar são aquecidas em virtude do contato com a pele, permitindo a perda de energia do corpo. Como o ar mais quente, por ser mais leve, sobe, e o ar mais frio e denso, desce, essa troca proporciona uma sensação de resfriamento graças à movimentação do ar conhecida como convecção natural (LIU; LIN; CHOU, 2009).

A velocidade do ar, por sua vez, altera as trocas de calor por convecção e evaporação de uma pessoa, retirando o ar quente e a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduz a sensação de calor. Então, quanto maior a velocidade do ar, maior será a sensação de perda de calor e, conseqüentemente, maior o conforto (em dias quentes) ou o desconforto (em dias frios).

Quanto à umidade relativa, à medida que a temperatura do meio se eleva, dificulta-se as perdas por convecção e radiação, então o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Assim, quanto maior a umidade do ar, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor (LAMBERTS *et al.*, 2016). Logo, a umidade elevada somada a altas temperaturas do ar podem produzir uma impressão de “abafamento” dos ambientes e piorar a sensação de calor dos seres vivos.

---

**Para saber mais** sobre os parâmetros que influenciam no conforto térmico humano, consulte o manual de conforto térmico de Frota e Schiffer (2001).



---

Diante do exposto, a temperatura do ar, a umidade e a velocidade do vento devem ser correlacionadas ao definirem-se as estratégias de conforto térmico passivo. Por exemplo, em regiões de clima quente e úmido, a ação dos ventos pode ser muito benéfica para promover o conforto térmico. Já em climas secos e frio, podem ser proveitosas as estratégias que aproveitem ao máximo a radiação solar para elevação da temperatura no interior do edifício (CAMPOS-NAVARRO, 2007).

## 5.2 USO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Cada vez mais, os seres humanos dispõem de equipamentos elétricos que possibilitam reestabelecer o conforto térmico no interior das edificações, ainda que as condições climáticas externas mostrem-se desfavoráveis. Todavia, nem todos possuem condicionadores de ar ou aquecedores em suas residências, especialmente no caso dos habitantes de países emergentes, como o Brasil.

É de sumária importância, então, extrair o melhor partido das condições climáticas do local onde insere-se a edificação para produzir conforto térmico aos seus ocupantes, bem como para minimizar o consumo de energia pela redução no acionamento de sistemas artificiais de condicionamento do ar.

Motivados por essa preocupação, vários autores têm sustentado a necessidade de adoção de estratégias passivas na concepção dos projetos. Para sua eficaz aplicação, é preciso analisar o local a partir dos dados de clima disponíveis, especialmente a radiação solar, temperatura do ar, umidade, velocidade e direção do vento.

Essa análise pode ser feita por meio de cartas bioclimáticas. Desenvolvida originalmente na década de 60 por Olgyay a partir da carta psicrométrica<sup>30</sup>, a carta bioclimática é usada para determinar estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (LAMBERTS *et al.*, 2016). Desde então, no Brasil tem sido muito utilizada a carta baseada nos estudos de Givoni (1992) por ser própria para países em desenvolvimento.

A Figura 198 apresenta um exemplar da carta bioclimática de Givoni. Observe que há uma região “central” chamada de “zona de conforto” (em verde), a qual indica que, havendo as condições climáticas de temperatura do ar (temperatura de bulbo seco – TBS e temperatura de bulbo úmido – TBU) e de umidade do ar (relativa e absoluta) cujas faixas de valores remetam a pontos situados no interior dessa região, então há grande probabilidade de que os indivíduos sintam-se confortáveis nessa configuração.

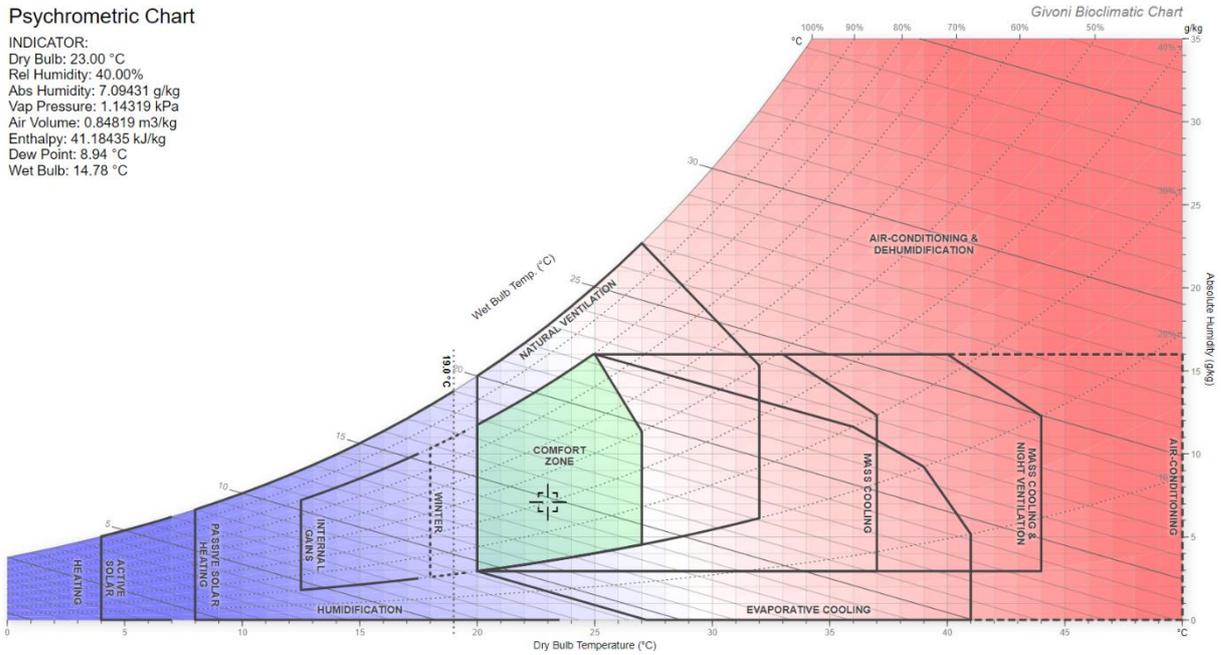
De acordo com Lamberts *et al.* (2016), a sensação de conforto térmico pode ser obtida para umidade relativa variando de 20 a 80% e temperatura de bulbo seco entre 18 e 29 °C. Esses limites podem ser ajustados a depender do autor e das peculiaridades do local considerado no estudo. Usualmente, as cartas psicrométricas para os países mais desenvolvidos apresentam

---

<sup>30</sup> A carta psicrométrica é um ábaco que representa graficamente as evoluções do ar úmido, sendo que cada ponto da carta representa uma combinação da temperatura do ar seco e vapor d'água.

menor “tolerância” dos valores da zona de conforto, vide a normativa estadunidense ASHRAE *Standard 55*, de 2017 (ASHRAE, 2017).

Figura 198: Carta bioclimática de Givoni



Fonte: < <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html> >

Acesse o *site* assinalado na fonte da Figura 198 para ser direcionado a ferramenta do *Psychrometric 2D*. Confira o valor de todos os indicadores da zona de conforto da carta de Givoni, assim como outras cartas psicrométricas disponibilizadas pela plataforma. Basta mover o cursor e clicar em qualquer ponto do gráfico e, automaticamente, são exibidos os valores das variáveis climáticas selecionadas.

Ainda com base na Figura 198, note que, à medida que os valores de temperatura do ar e umidade divergem das condições adequadas de conforto, começam a aparecer estratégias demarcadas por regiões específicas. A aplicação dessas soluções visa reestabelecer o conforto ou atenuar o desconforto no interior das edificações. A depender das condições climáticas externas, pode-se utilizar ventilação natural diurna ou noturna, resfriamento evaporativo, inércia térmica para resfriamento ou aquecimento, umidificação e aquecimento solar. Nos casos extremos, o conforto dos usuários só pode ser atingido com o uso de equipamentos mecânicos de aquecimento ou arrefecimento do ar.

Para compreender a significação de cada uma das referidas estratégias bioclimáticas e como são aplicadas em projeto de arquitetura, acesse a plataforma do ProjetEEE  (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes).

O ProjetEEE pode ser acessado a partir do *link*: <http://ProjetEEE.mma.gov.br/>. Ao abri-lo, você verá um menu contendo informações sobre o programa, dúvidas frequentes e um tutorial. Abaixo, as opções “dados climáticos”, “estratégias bioclimáticas”, “componentes construtivos” e “equipamentos”, além de um campo destinado a seleção de um município de entrada para colher os resultados da análise.



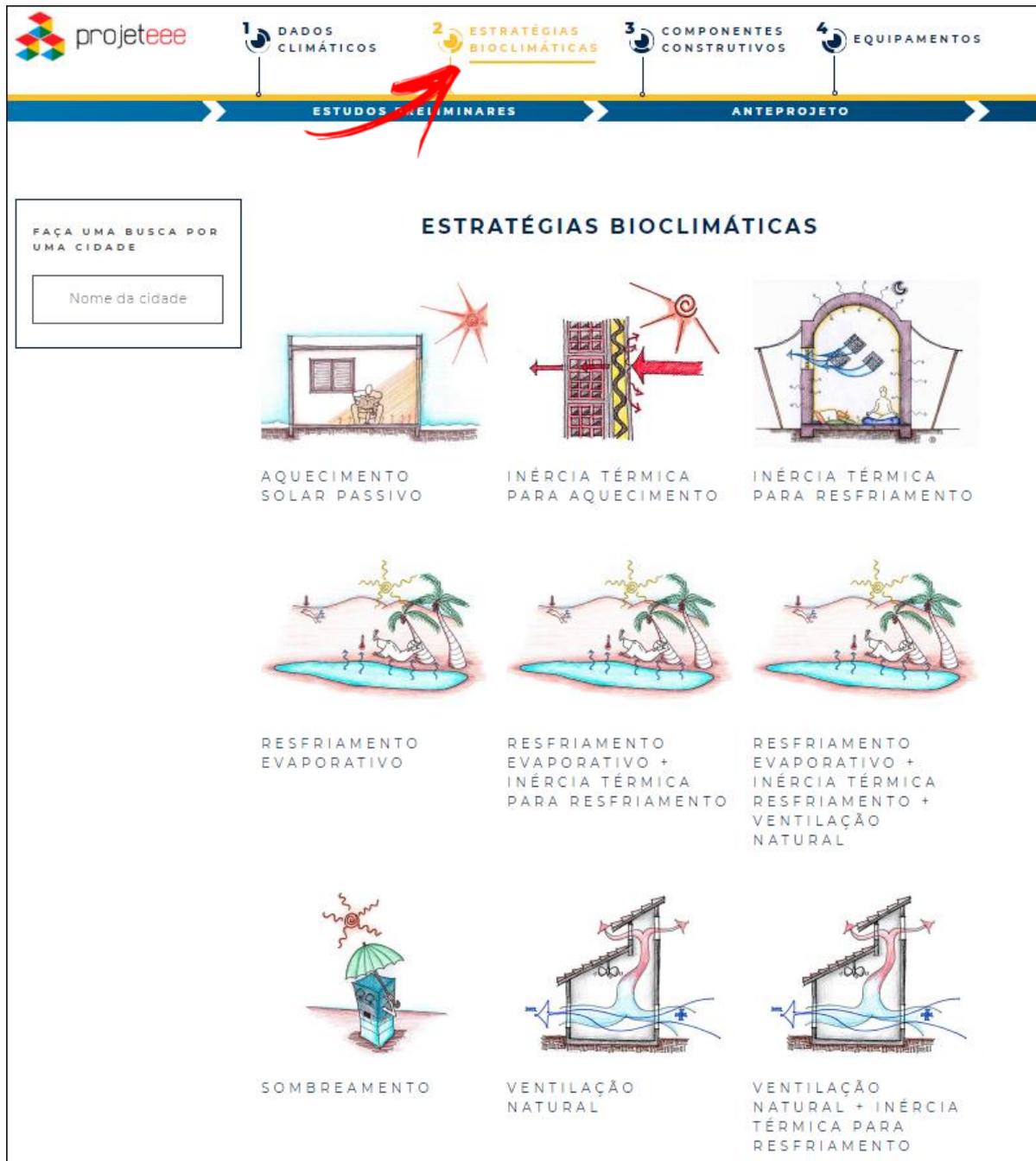
No ProjetEEE você descobrirá uma ferramenta didática repleta de conteúdo: há dados climáticos disponíveis para mais de 400 cidades do país, indicação de estratégias de projeto mais apropriadas para cada localidade e detalhamentos da aplicação prática destas estratégias, dados das propriedades termofísicas de uma série de componentes construtivos e muito mais! Aproveite para explorar e aprender sobre cada uma das estratégias bioclimáticas elencadas.

Clique no menu “2 – estratégias bioclimáticas” para visualizar a relação das estratégias de projeto possíveis, conforme a Figura 199. Observe que os ícones podem representar uma estratégia específica ou, ainda, duas ou mais combinadas. Aproveite e clique sobre cada uma para ler seu conceito, características de projeto e modos de aplicação.

**Para saber mais** sobre sobre as estratégias de arquitetura bioclimática, consulte o livro de Dekay e Brown (2004), os manuais de Frota e Schiffer (2003) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ou a apostila de Lamberts *et al.* (2016). Os dois últimos estão disponíveis no *site* do LabEEE, em: < <http://labeee.ufsc.br/index.php/publicacoes/livros> >.



Figura 199: Estratégias bioclimáticas dispostas no ProjetEEE



Fonte: < <http://ProjetEEE.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/> >

### 5.3 O USO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EM ZONEAMENTOS CLIMÁTICOS

As variáveis climáticas também são utilizadas nos métodos de zoneamento climático de um país. Um zoneamento climático, segundo Walsh, Cóstola e Labaki (2017), agrupa regiões

terrestres chamadas zonas climáticas, em que as condições meteorológicas exibem certo nível de similaridade para os principais parâmetros climáticos. Após delimitadas, as zonas climáticas são agrupadas e apresentadas em um mapa de zoneamento climático.

Os zoneamentos climáticos podem ser elaborados para diferentes propósitos, tais como para fins de agricultura (ARAYA; KEESSTRA; STROOSNIJDER, 2010), para previsão de expectativas térmicas de turistas (LIN; MATZARAKIS, 2011) ou para promover a eficiência energética de edifícios (ABNT, 2005; ADEREE, 2011). Os últimos são tema central desta seção e doravante serão chamados apenas de zoneamento(s) climático(s) para facilitar a compreensão.

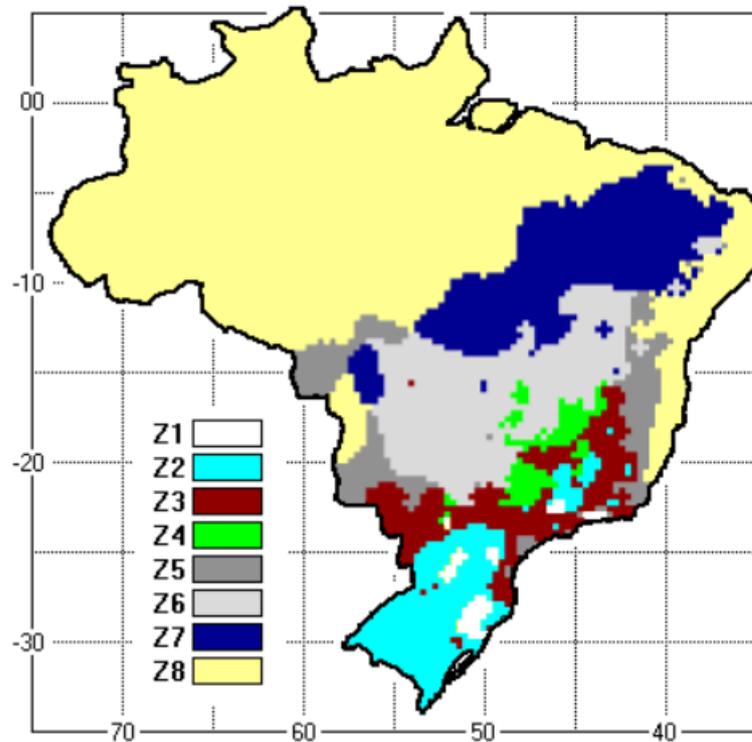
De acordo com o Walsh, Cóstola e Labaki (2017), a temperatura é a variável climática mais utilizada nos métodos de zoneamento climático, seguida pela umidade relativa e radiação solar / horas de sol. Os mapas, por sua vez, são resultado da combinação entre essas variáveis, do cálculo de indicadores de desempenho ou do uso de técnicas para processamento de dados climáticos, como a simulação computacional de edifícios ou cartas bioclimáticas.

Atualmente, muitos países dispõem do zoneamento climático para políticas, normativas, regulamentos e programas de eficiência energética para certificação das edificações em seus territórios (KOTTEK *et al.*, 2006; CONRADIE, VAN REENEN, BOLE, 2018). O zoneamento bioclimático brasileiro integra a normativa NBR 15.220 – Parte 3, de 2005 (ABNT, 2005). Um zoneamento bioclimático é assim chamado por ter suas zonas definidas a partir de uma carta bioclimática e, como consequência, apresentar estratégias passivas mais apropriadas para a edificação a depender de sua localização no território nacional.

O zoneamento brasileiro é fruto dos estudos de Roriz, Ghisi e Lamberts (1999). Para construí-lo, os autores valeram-se de dados climáticos obtidos entre 1931 a 1990 (disponíveis, na época, para alguns municípios do país) e os analisaram pela carta de Givoni adaptada a países em desenvolvimento. Ao final, o território do país foi dividido em 8 zonas bioclimáticas (ZB's).

A Figura 200 apresenta o mapa do zoneamento bioclimático do Brasil no *software* ZBBR 1.1 – Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros, desenvolvido por Maurício Roriz (ZBBR, 2004). O programa é de simples operação e permite consultar as recomendações para a zona bioclimática de cada município. É possível baixá-lo gratuitamente a partir do *site* do LabEEE, disponível em: < <http://labeee.ufsc.br/downloads> >.

Figura 200: Zoneamento Bioclimático do Brasil



Fonte: ZBBR (2004)

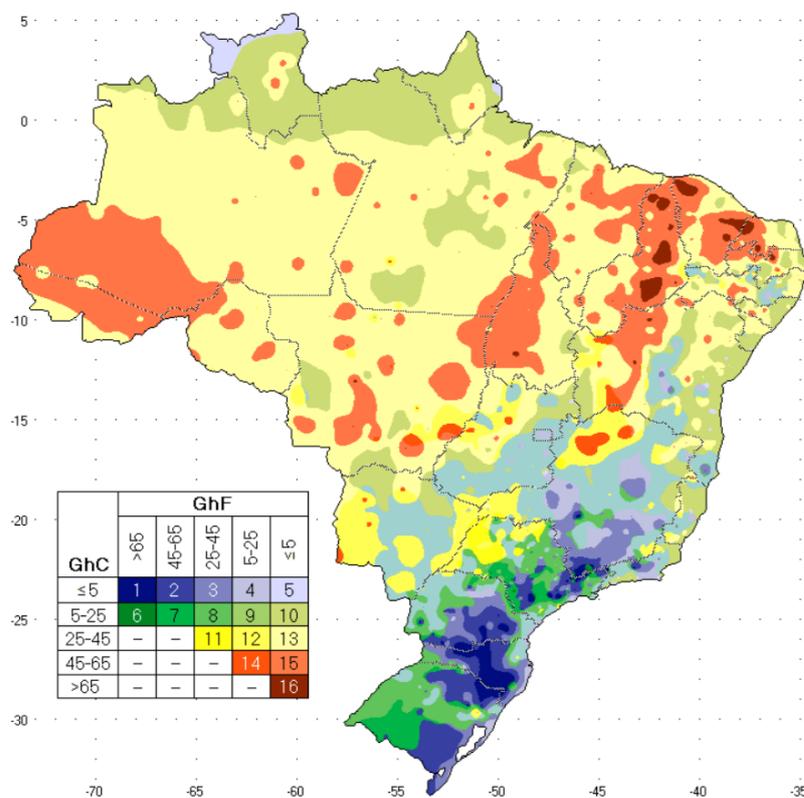
Você poderá encontrar no Anexo B da ABNT NBR 15.220:2005 a explicação do método empregado para a definição das ZB's. Você poderá também conferir na referida normativa as recomendações de ordem técnico-construtivas relacionadas às estratégias passivas para cada zona bioclimática do Brasil.

Saiba também que nem todos os países utilizam zoneamentos bioclimáticos (apesar de serem muito comuns no continente sul-americano). As abordagens utilizadas para elaboração de zoneamentos climáticos divergem entre centradas exclusivamente no clima (quando utilizam apenas variáveis climáticas no método), baseadas em desempenho (quando são considerados indicadores de desempenho ou técnicas para processamento de dados climáticos) ou oriundas de outros parâmetros (como divisões administrativas). Caso queiras inteirar-se mais no assunto, recomendamos a leitura da tese de Walsh-García (2017).

O atual zoneamento bioclimático do Brasil (ABNT, 2005) está em processo de revisão (RORIZ, 2012a; RORIZ, 2012b). A última proposta de atualização foi feita por Roriz (2014) e conta com um mapa de classificação de climas refinado, construído a partir de dados climáticos tratados, mais precisos, em maior quantidade e menos esparsos em relação ao zoneamento desenvolvido por Roriz, Ghisi e Lamberts (1999).

Para estabelecer o novo zoneamento climático do Brasil, Roriz (2012a) tomou como base valores de temperatura média anual para 610 municípios. Em suma, o método resultou na classificação de 20 zonas climáticas. Na sequência, Roriz (2012b) aperfeiçoou o método, graças a um aumento na disponibilidade de dados de temperatura (agora, para 1281 municípios). Esses dados foram tratados e utilizados para calcular os valores anuais de graus-hora de calor (GhC) e graus-hora de frio (GhF). A zona de conforto considerada no cálculo situava-se entre 18 e 28 °C, correspondente aos limites da carta bioclimática de Givoni para países em desenvolvimento. Como resultado, foram definidas 16 zonas bioclimáticas para o Brasil (Figura 201).

Figura 201: Proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil



Fonte: Roriz (2012b)

As últimas atualizações executadas por Roriz (2014) remetem a uma classificação de climas do Brasil. Os dados de temperatura média anual, amplitude térmica e os respectivos desvios-padrão foram utilizados para dividir o território nacional em 24 grupos representativos da diversidade climática existente no país.

Roriz (2014) intencionava usar essa classificação em uma próxima etapa para construir novos mapas de zoneamento climático do Brasil, nos quais as zonas climáticas seriam definidas

por meio de simulação computacional do desempenho de edifícios para diferentes tipologias representativas do estoque de edificações nacional. Aliás, aí está uma boa oportunidade de pesquisa! Caso intencione saber mais sobre o progresso dos estudos de Roriz, consulte-os nas referências ao final deste apêndice.

Apesar disso, até então não há registros de novas pesquisas que levassem adiante esse estudo, permanecendo a obra de Roriz (2014) como a última evidência de qualquer tentativa nesse sentido.

## ROTEIRO AP-MII

# ANÁLISE DOS DADOS DE CLIMA A PARTIR DE CARTAS PSICROMÉTRICAS E BIOCLIMÁTICAS

---

Neste tutorial são apresentadas algumas ferramentas computacionais (tanto programas quanto plataformas que podem ser utilizadas *online*) para visualização das informações de clima e para análise e processamento desses dados em cartas psicrométricas e em cartas bioclimáticas, como forma de complementar o conteúdo discorrido no Módulo II. Iniciemos pelo programa computacional *Climate Consultant*.

### O *CLIMATE CONSULTANT*

Desenvolvido pela Universidade da Califórnia, o *Climate Consultant* é um programa gratuito que permite visualizar de forma gráfica os dados contidos em arquivos climáticos formato *.epw* e acessar as estratégias bioclimáticas para o município analisado, com base nas proposições de diferentes modelos de conforto térmico.

Apresentaremos um resumo demonstrando os passos para abrir o arquivo climático *.epw* de Campo Grande / MS do tipo SWERA e para visualizar alguns gráficos que podem ser criados na versão 6.0 do *software*.

O instalador do *software* pode ser baixado a partir do *site*: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php> (disponível para *MacOS* e *Windows*, é necessário ter o Java instalado em seu computador).

Após instalar o *Climate Consultant* em seu computador, abra-o. O programa é bastante intuitivo. Há uma biblioteca para dúvidas no menu *Help*.

Uma tela de apresentação irá aparecer, conforme a Figura 202, contendo uma descrição sobre os objetos e as principais características da ferramenta. Após lê-las, clique em *Next*.

Na sequência, você poderá visualizar instruções do *Climate Consultant*, incluindo um *link* para um tutorial de interpretação de cartas psicrométricas.

Figura 202: Instalando o *Climate Consultant v. 6.0*



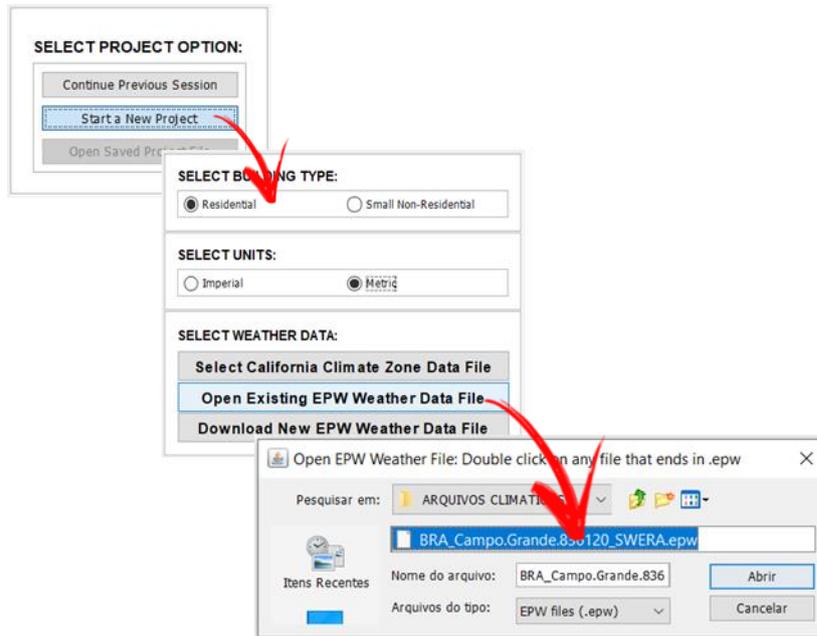
Clique em *Next* novamente para ser direcionado ao menu de seleção de projetos. Para começar um novo projeto, selecione o botão *Start a New Project*.

A seguir, em *Select Building Type*, configure o tipo de edificação entre as duas opções disponíveis, selecione o padrão de unidades desejado e abra o arquivo climático *.epw* de entrada em *Open Existing EPW Weather Data File*.

Veja que também é possível abrir arquivos disponíveis no próprio banco de dados do programa ou baixá-los a partir do *Climate Consultant*.

Selecionamos o arquivo climático *.epw* de Campo Grande/MS. A Figura 203 resume os passos descritos.

Figura 203: Selecionando um arquivo climático de entrada



Automaticamente, o programa retornará um sumário mensal sobre os dados climáticos do município, conforme a Figura abaixo.

Figura 204: Resumo das variáveis do arquivo climático de Campo Grande

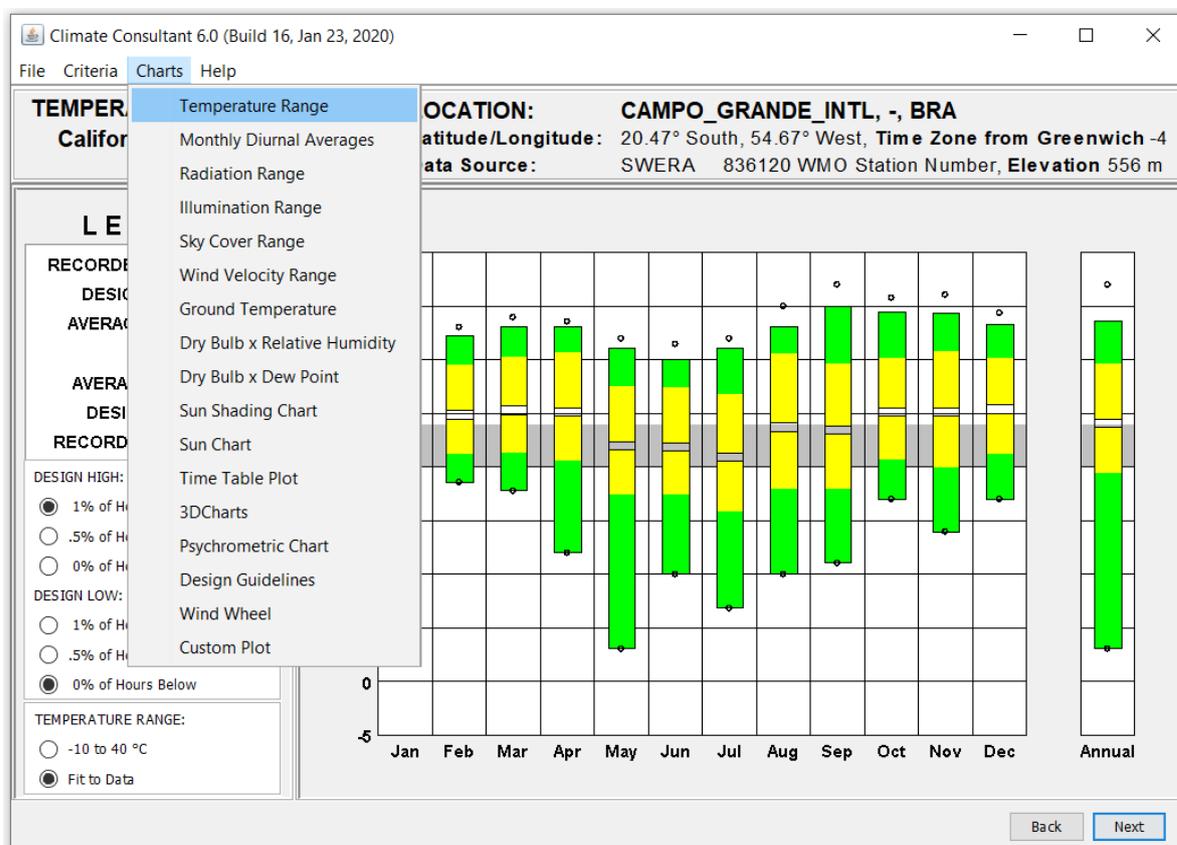
| Climate Consultant 6.0 (Build 16, Jan 23, 2020) |       |       |       |       |       |                                                                            |       |       |       |       |       |       |           |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| File Criteria Charts Help                       |       |       |       |       |       |                                                                            |       |       |       |       |       |       |           |
| <b>LOCATION:</b>                                |       |       |       |       |       | <b>CAMPO_GRANDE_INTL, -, BRA</b>                                           |       |       |       |       |       |       |           |
| <b>WEATHER DATA SUMMARY</b>                     |       |       |       |       |       | Latitude/Longitude: 20.47° South, 54.67° West, Time Zone from Greenwich -4 |       |       |       |       |       |       |           |
|                                                 |       |       |       |       |       | Data Source: SWERA 836120 WMO Station Number, Elevation 556 m              |       |       |       |       |       |       |           |
| MONTHLY MEANS                                   | JAN   | FEB   | MAR   | APR   | MAY   | JUN                                                                        | JUL   | AUG   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   |           |
| Global Horiz Radiation (Avg Hourly)             | 479   | 455   | 440   | 439   | 387   | 357                                                                        | 376   | 431   | 476   | 479   | 472   | 453   | Wh/sq.m   |
| Direct Normal Radiation (Avg Hourly)            | 360   | 341   | 383   | 511   | 469   | 456                                                                        | 469   | 453   | 450   | 374   | 344   | 316   | Wh/sq.m   |
| Diffuse Radiation (Avg Hourly)                  | 214   | 216   | 185   | 132   | 124   | 113                                                                        | 116   | 146   | 166   | 207   | 219   | 220   | Wh/sq.m   |
| Global Horiz Radiation (Max Hourly)             | 1106  | 1078  | 1016  | 977   | 793   | 725                                                                        | 766   | 900   | 1021  | 1061  | 1086  | 1120  | Wh/sq.m   |
| Direct Normal Radiation (Max Hourly)            | 1023  | 987   | 986   | 972   | 946   | 928                                                                        | 914   | 904   | 924   | 967   | 891   | 1005  | Wh/sq.m   |
| Diffuse Radiation (Max Hourly)                  | 672   | 628   | 642   | 459   | 445   | 413                                                                        | 494   | 500   | 567   | 618   | 719   | 635   | Wh/sq.m   |
| Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)        | 6284  | 5791  | 5344  | 5068  | 4263  | 3856                                                                       | 4109  | 4897  | 5670  | 5993  | 6137  | 5997  | Wh/sq.m   |
| Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)       | 4719  | 4339  | 4656  | 5898  | 5170  | 4922                                                                       | 5117  | 5148  | 5355  | 4676  | 4477  | 4187  | Wh/sq.m   |
| Diffuse Radiation (Avg Daily Total)             | 2809  | 2756  | 2242  | 1523  | 1368  | 1218                                                                       | 1268  | 1654  | 1987  | 2598  | 2843  | 2914  | Wh/sq.m   |
| Global Horiz Illumination (Avg Hourly)          | 53592 | 50878 | 49275 | 48935 | 42635 | 39245                                                                      | 41115 | 47049 | 52273 | 52844 | 52309 | 50551 | lux       |
| Direct Normal Illumination (Avg Hourly)         | 32492 | 30629 | 34977 | 47815 | 44162 | 43076                                                                      | 44540 | 43053 | 42890 | 34856 | 31676 | 28268 | lux       |
| Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)              | 25    | 24    | 25    | 25    | 21    | 21                                                                         | 20    | 23    | 23    | 25    | 25    | 25    | degrees C |
| Dew Point Temperature (Avg Monthly)             | 21    | 20    | 20    | 18    | 15    | 14                                                                         | 13    | 13    | 14    | 16    | 17    | 20    | degrees C |
| Relative Humidity (Avg Monthly)                 | 77    | 77    | 75    | 69    | 69    | 65                                                                         | 65    | 54    | 62    | 61    | 65    | 74    | percent   |
| Wind Direction (Monthly Mode)                   | 0     | 0     | 0     | 0     | 90    | 70                                                                         | 80    | 0     | 90    | 150   | 90    | 0     | degrees   |
| Wind Speed (Avg Monthly)                        | 4     | 3     | 3     | 3     | 3     | 4                                                                          | 5     | 2     | 4     | 3     | 3     | 3     | m/s       |
| Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)    | 25    | 24    | 23    | 23    | 22    | 22                                                                         | 22    | 23    | 23    | 24    | 25    | 25    | degrees C |

Vá até o menu *Charts*. Observe que diversos tipos de gráficos podem ser gerados para as variáveis climáticas do município, englobando as faixas de temperatura, as médias mensais diurnas do conforto adaptativo, análise da variação da radiação, índice de iluminação, cobertura do céu, velocidade do vento, temperatura do solo, correlação entre a umidade relativa com temperatura de bulbo seco, cartas solares etc.

Além disso, é possível visualizar uma carta psicrométrica e gerar cartas bioclimáticas desenvolvidas com base nos modelos de conforto térmico da *California Energy Code Comfort Model* de 2013 e da *ASHRAE Standard 55* de 2004 ou pelo modelo de conforto adaptativo da *ASHRAE Standard 55* de 2010.

Abaixo, um *box plot* (diagrama de caixas) gerado no *Temperature Range* representando as variações de temperatura mensal durante um ano e faixa de conforto definida de acordo com o *default* do programa, que é para o *California Energy Comfort Model* de 2013.

Figura 205: Variações de temperatura mensal durante um ano de Campo Grande/MS

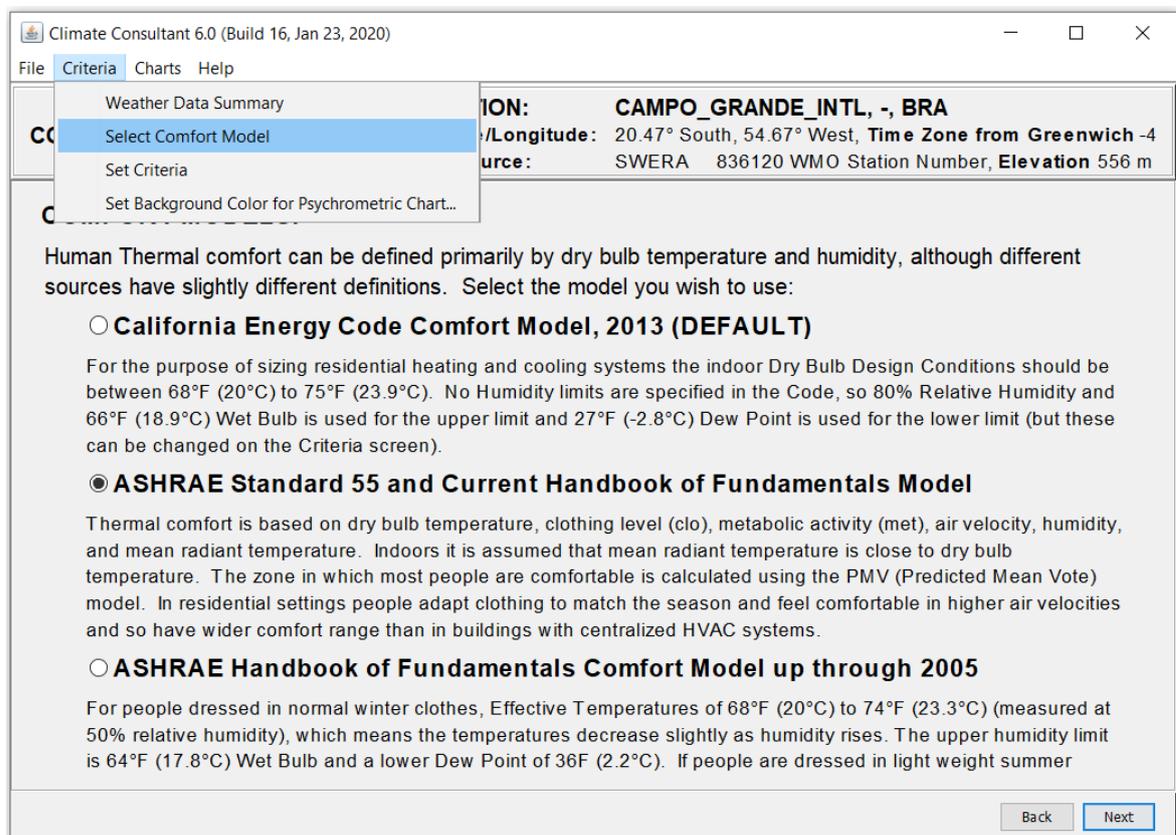


Procure navegar pela interface do programa. Veja que em *Legend* é possível configurar alguns filtros e realizar ajustes na exibição dos gráficos, como convir ao usuário.

Acima do *Legend* está um menu contendo informações sobre o tipo de gráfico que está sendo exibido, o modelo de conforto considerado, além de dados gerais de localização, altitude e o tipo do arquivo climático de entrada.

Para alterar o modelo de análise do conforto, acesse o menu *Criteria* e clique em *Select Comfort Model*, conforme demonstra a Figura 206.

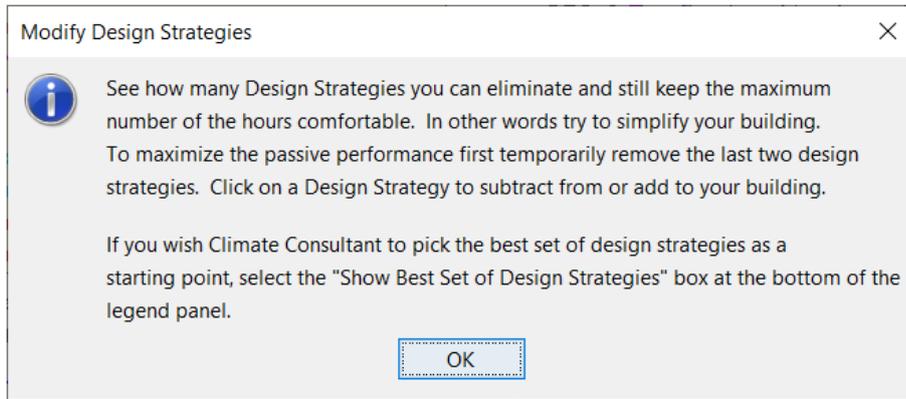
Figura 206: Selecionando um modelo de análise de conforto no *Climate Consultant 6.0*



Acesse o *Charts* novamente e clique sobre o *Psychrometric Chart* para abrir a carta psicrométrica (na realidade, carta bioclimática) de Campo Grande.

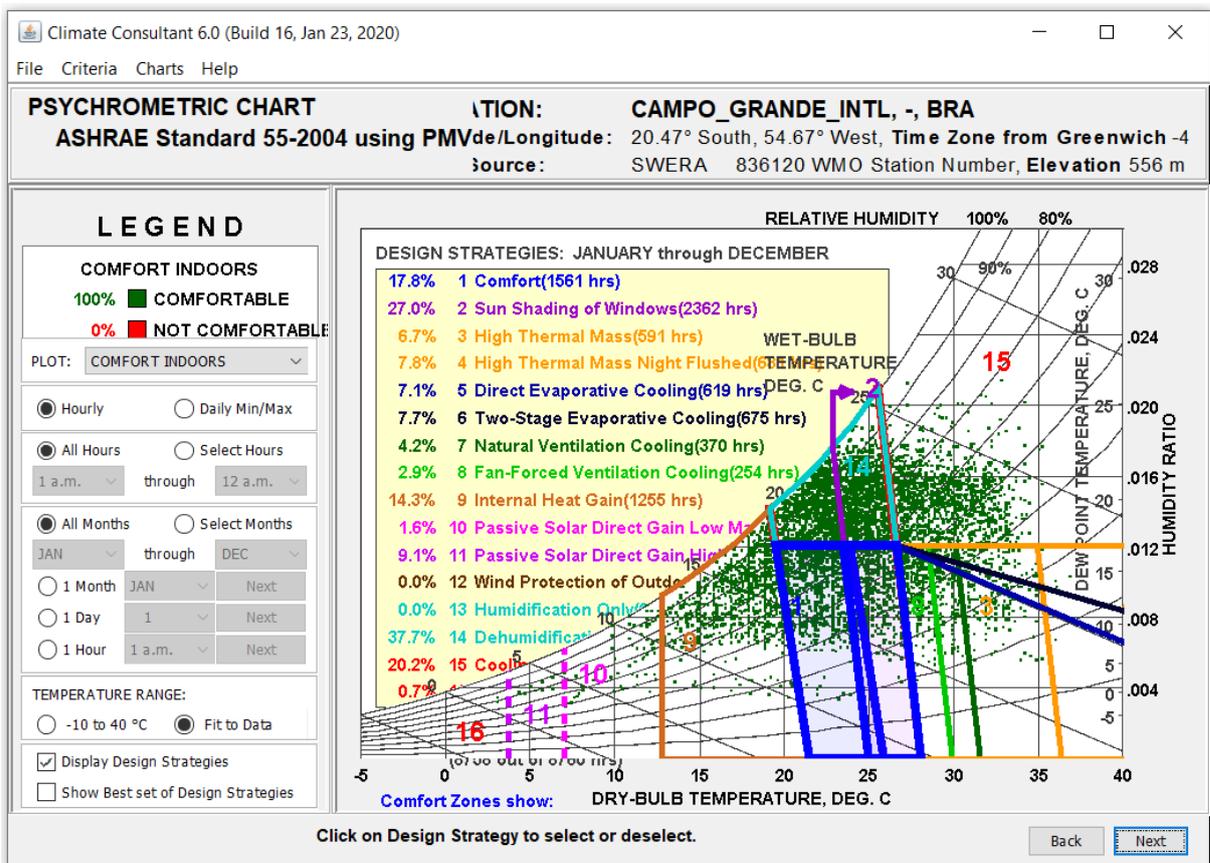
Observe que uma janela aparecerá em sua tela, incentivando (ou desafiando, se assim julgar) a ver quantas estratégias de projeto você consegue eliminar e ainda manter o número máximo de horas em conforto térmico: “tente simplificar seu edifício”!

Figura 207: Janela *Modify Design Strategies* do *Climate Consultant v. 6.0*



Veja que Campo Grande possui originalmente 1.561 h (ou quase 18% das horas do ano) dentro da zona de conforto segundo os critérios da *ASHRAE Standard 55* de 2004.

Figura 208: Carta psicrométrica de Campo Grande conforme a *ASHRAE 55:2004*

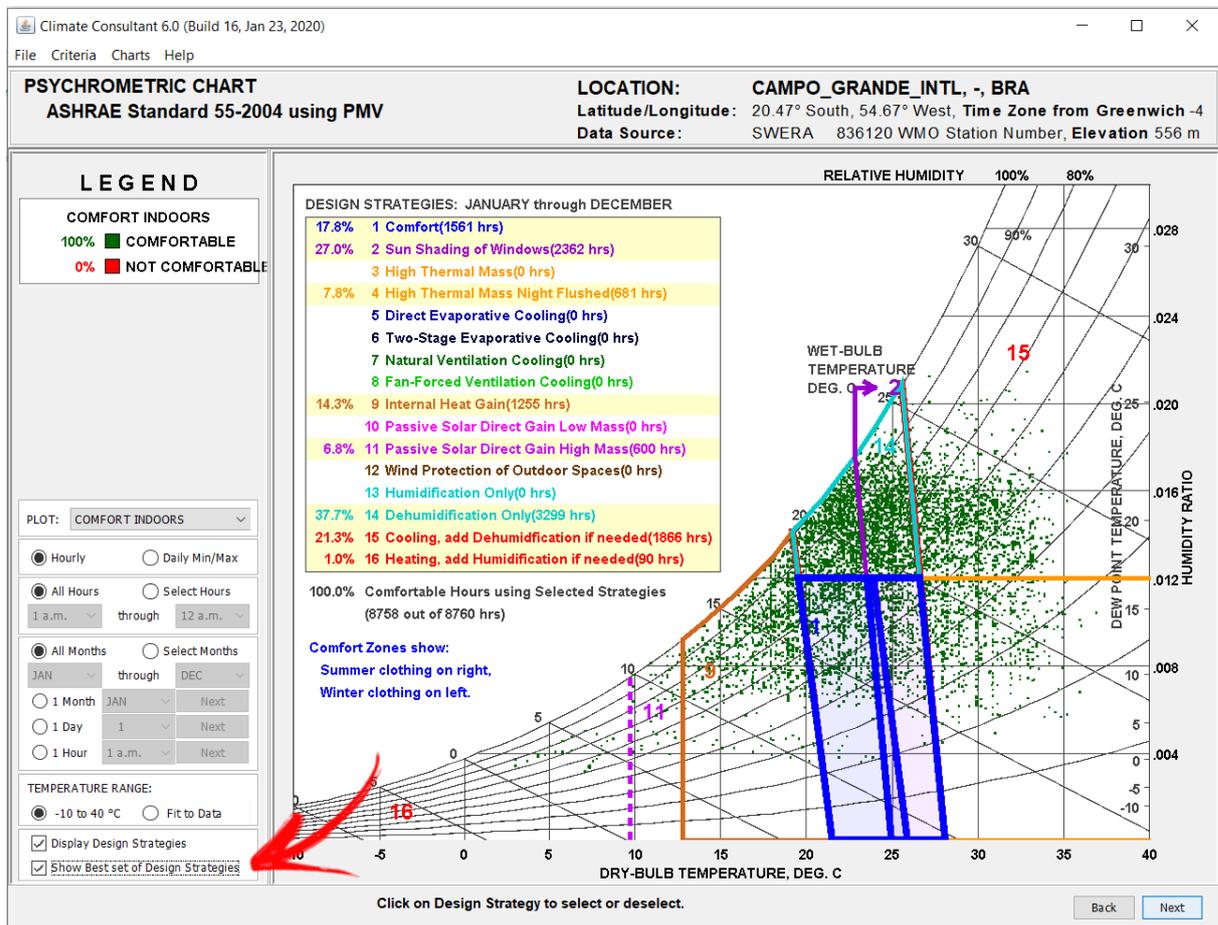


Para remover uma estratégia, basta clicar sobre ela no quadro amarelo. Para adicioná-la novamente, repita o procedimento.

Se você desejar visualizar o “gabarito” das melhores soluções de projeto, vá até o canto inferior do painel do *Legend* e assinale a opção *Show Best set of Design Strategies*.

Note que o *Climate Consultant* automaticamente apresentará a relação das estratégias necessárias e suficientes para garantir o conforto térmico durante o ano todo (8.758h de 8.760h ou praticamente 100% do tempo), conforme ilustra a Figura 209.

Figura 209: Estratégias de projeto para Campo Grande/MS



Para acessar a carta psicrométrica na íntegra, basta desmarcar o item *Display Design Strategies* e “voilà”.

## O PROJETEEE

Outra alternativa para análise dos dados climáticos é o ProjeteEEE.

A plataforma ProjeteEEE é uma ótima fonte à consulta de informações de ordem teórico-práticas, direcionadas aos profissionais e estudantes que integram, ou desejam integrar, a seus projetos a variável da eficiência energética, bem como àqueles que buscam referências para internalizar elementos bioclimáticos em suas pesquisas acadêmicas.

Analogamente ao efetuado para o *Climate Consultant*, apresentaremos à sequência uma breve demonstração de algumas funcionalidades da plataforma.

Acesse a página inicial do ProjeteEEE, disponível no link: <http://ProjeteEEE.mma.gov.br/>.

Note que o primeiro passo é digitar um município no campo correspondente. Caso sua cidade não esteja disponível, o sistema irá sugerir-lhe a cidade mais próxima situada na mesma zona bioclimática.

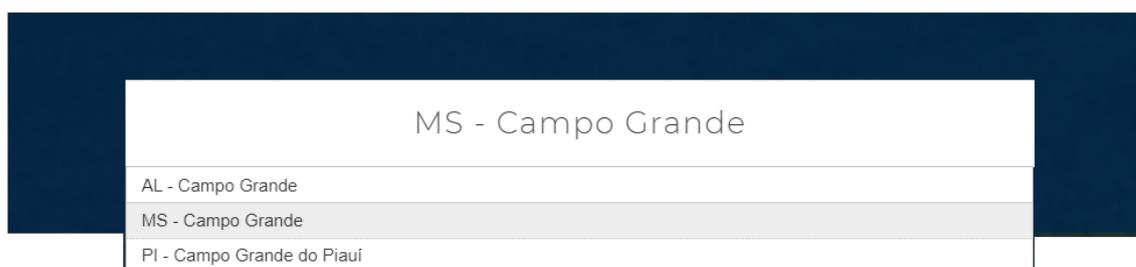
Figura 210: Município de entrada para uso do ProjeteEEE



Insira sua cidade para começar

Sigamos com o exemplo do município sul-mato-grossense de Campo Grande.

Figura 211: Campo Grande selecionada como cidade de entrada

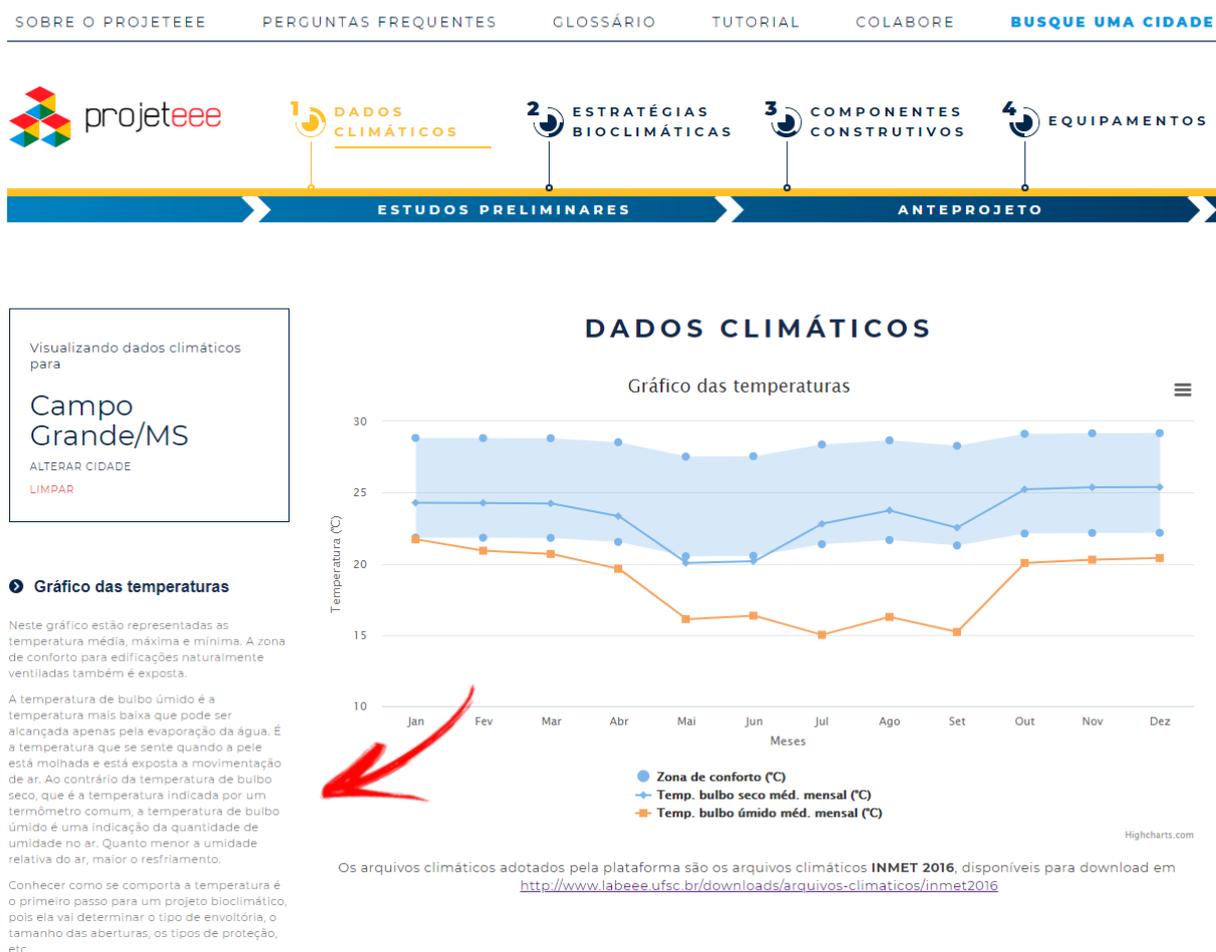


MS - Campo Grande

|                            |
|----------------------------|
| AL - Campo Grande          |
| MS - Campo Grande          |
| PI - Campo Grande do Piauí |

Após selecioná-lo, você será direcionado ao ambiente “Dados Climáticos”, conforme a Figura 212. Aproveite e tire um tempo para ler “SOBRE O PROJETEER” e assista ao vídeo de apresentação da plataforma disponibilizado no menu “Tutorial”.

Figura 212: Dados climáticos de Campo Grande/MS a partir do Projeteer



Observe que a ferramenta foi concebida para dar informações em duas etapas do projeto: “Estudos preliminares” e “Anteprojeto”. Por hora, abordaremos somente a primeira fase, a qual comporta os itens 1 e 2 (dados climáticos e estratégias bioclimáticas, respectivamente).

Vimos no primeiro módulo deste Manual que as primeiras análises realizadas durante os estudos preliminares são fundamentais para avançar com um projeto eficiente. Nesse sentido, o Projeteer fornece dados climáticos para mais de 400 municípios brasileiros, provenientes de arquivos climáticos tipo INMET 2016.

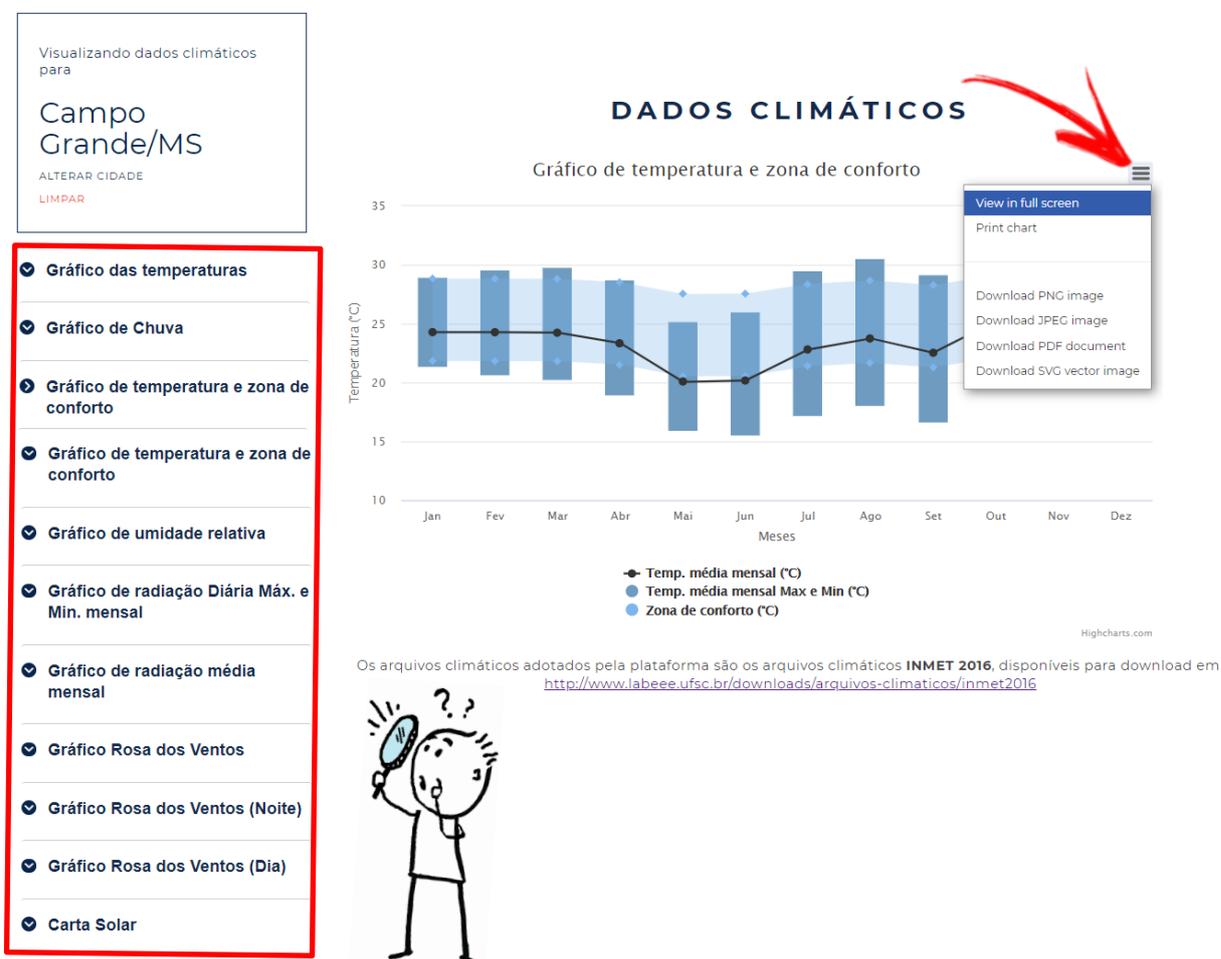
A predefinição dos arquivos de entrada é um pequeno fator limitante da ferramenta, o que de modo algum a detrai. Os arquivos climáticos INMET podem ser baixados na base de dados do LabEEE, em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>.

Veja pela Figura 213 que o primeiro gráfico gerado é o das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (médias, máximas e mínimas mensais), com a zona de conforto para edificações naturalmente ventiladas como pano de fundo.

Ao lado, uma descrição dos conceitos de cada variável climática abarcada pelo gráfico em questão e o restante da lista contendo os outros tipos de gráficos que podem ser gerados (de chuva, de temperatura e zona de conforto, ..., rosa dos ventos e a carta solar do município).

Observe também a existência de um ícone ≡ abarcando opções de visualização em tela cheia, impressão e *download* da imagem em diversos formatos (uma ótima funcionalidade), conforme ilustra a Figura 213.

Figura 213: Temperatura médias mensal de bulbo seco e zona de conforto térmico de Campo Grande/MS visto a partir da plataforma do ProjeteEEE



Ademais, vimos neste Apêndice a importância de considerar os estudos bioclimáticos nas premissas de projeto, visto que a aplicação de estratégias bioclimáticas adequadas resulta no planejamento de edifícios mais confortáveis aos seus ocupantes.

Adiante, vejamos quais estratégias bioclimáticas o ProjetEEE recomenda para Campo Grande. Clique em “Estratégias Bioclimáticas” para ser direcionado ao segundo passo dos estudos preliminares, conforme ilustra a Figura 214.

Figura 214: Estratégias bioclimáticas recomendadas para Campo Grande/MS



Veja que em 45% do ano o município se encontra em conforto térmico, enquanto que em 54% do tempo em desconforto (21% por frio e 33% por calor).

Para calcular esses índices, o ProjetEEE toma como base o percentual de horas do ano em que os dados de temperatura e umidade aparecem dentro dos limites definidos pela carta bioclimática de Givoni (1992), ou seja, considerando um modelo de conforto adaptativo para edificações naturalmente ventiladas de países em desenvolvimento.

Compare com os resultados da Figura 208, na qual Campo Grande apresentou apenas 1.561 h (cerca de 18% das horas do ano) dentro da zona de conforto segundo os critérios da *ASHRAE Standard 55* de 2004<sup>31</sup>. Perceba que o modelo adaptativo da normativa estadunidense, por não ser próprio para ambientes naturalmente ventilados, é mais rigoroso quanto aos limites da zona de conforto térmico das edificações.

Dando sequência, note que no campo “Análise seu projeto por” são disponibilizados filtros para as quatro estações do ano e para certos intervalos horários pré-definidos de um dia completo. Clique e veja quais são.

Mais abaixo, em “Conheça as outras estratégias bioclimáticas” a plataforma apresenta as demais estratégias bioclimáticas e os percentuais de aplicabilidade de cada uma.



**OBSERVAÇÃO!!!** O ProjetEEE apresenta uma série de estratégias de projeto que podem ser usadas para alcançar o máximo aproveitamento bioclimático disponível no município. Tais estratégias estão relacionadas às diversas intervenções possíveis na arquitetura da edificação. A relação completa pode ser acessada no menu “Perguntas frequentes” em “Quais são as principais estratégias bioclimáticas apresentadas no ProjetEEE?”.

Disponível em: <http://ProjetEEE.mma.gov.br/perguntas-frequentes/>.

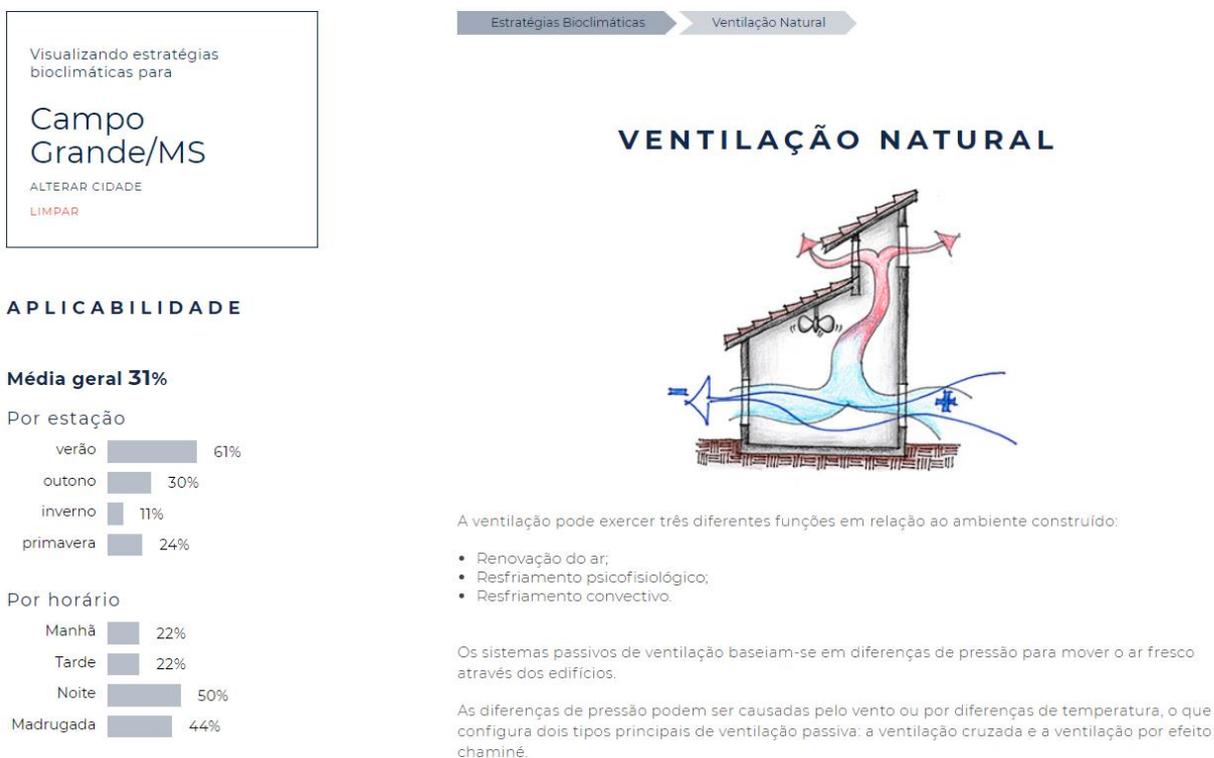
Para visualizarmos as aplicações de projeto possíveis para Campo Grande relativas à “Ventilação Natural”, basta clicar sobre o ícone dessa estratégia e aguardar a página carregar para ser direcionado a um ambiente similar ao da Figura 215.

De início, veja que a plataforma apresenta uma descrição geral da estratégia selecionada. Role o *mouse* um pouco mais para ver as referências consideradas pelos desenvolvedores. Ao lado, veja a aplicabilidade e os filtros de análise do projeto.

---

<sup>31</sup> A partir de 2010, a normativa *ASHRAE Standard 55* passou a também apresentar um método opcional para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente ventilados.

Figura 215: Selecionando uma estratégia para Campo Grande/MS no ProjetEEE



Note que a ventilação natural apresenta o maior valor percentual de aplicabilidade dentre as estratégias para Campo Grande, com média geral de 31 %, sendo a maior demanda durante o verão (61%) com maior prevalência no período noturno (ventilação noturna).

A ventilação noturna refere-se ao caso das edificações de elevada capacidade térmica ventiladas somente à noite, permanecendo as aberturas fechadas durante o dia. Dessa maneira o edifício é resfriado por convecção durante a noite e é capaz de absorver a penetração do calor durante o dia com pouca elevação da temperatura interna.

Essa estratégia é favorável para edifícios situados em municípios de clima quente e seco, onde há uma variação grande da temperatura do dia para a noite em boa parte do ano. Abra o .csv de Campo Grande novamente e dê uma olhada na coluna de temperatura do ar para conferir os valores dessa amplitude.

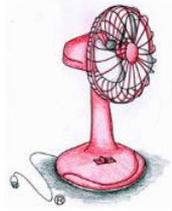
Acesse a lista completa das aplicações de projeto concernentes à estratégia de ventilação natural após “Referências”, disponíveis em “Aplicações de ventilação natural”. Você encontrá-las-á separadas por ícones, conforme demonstra a Figura 216.

Figura 216: Aplicações de projeto da estratégia selecionada no ProjetEEE

### APLICAÇÕES DE VENTILAÇÃO NATURAL



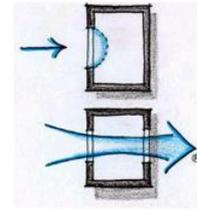
VENTILAÇÃO EM PÁTIOS INTERNOS



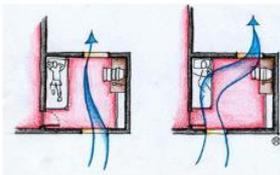
VENTILAÇÃO MECÂNICA AUXILIAR



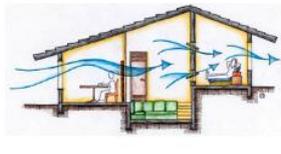
VENTILAÇÃO NOTURNA



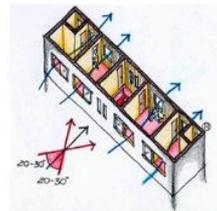
VENTILAÇÃO CRUZADA



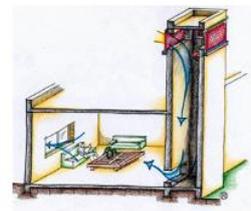
VENTILAÇÃO CRUZADA - JANELAS ABERTAS



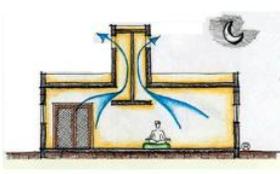
VENTILAÇÃO CRUZADA - PLANTAS ABERTAS



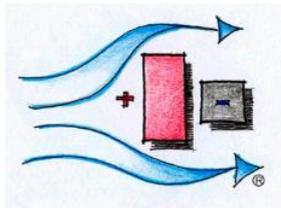
VENTILAÇÃO CRUZADA - VOLUMETRIA



TORRES DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO



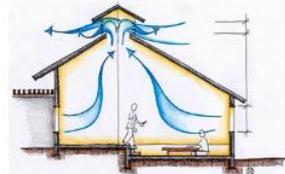
TORRES DE VENTO



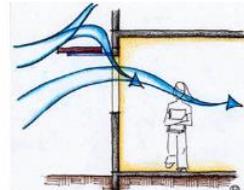
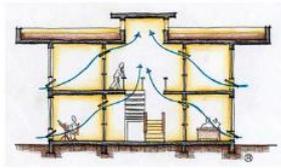
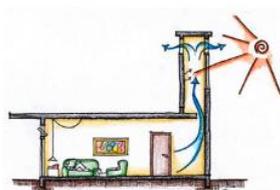
SÍTIO E ORIENTAÇÃO



QUEBRA-VENTO



EFEITO CHAMINÉ



Novamente, lançamos o desafio: veja quantas estratégias de projeto é possível eliminar e ainda manter o número máximo de horas em conforto térmico: “tente simplificar seu edifício”!

Aproveite também para comparar as estratégias e os percentuais de aplicabilidade para Campo Grande da análise feita no ProjetEEE em relação aos valores obtidos quando realizada no *Climate Consultant*.

Ficaram próximos? Como você explicaria essas diferenças?

## O DATAVIEW 2D E O PSYCHROMETRIC CHART 2D

O *DataView 2D* é uma plataforma *online* (“*web app*”) desenvolvido pelo pesquisador Dr. Andrew J. Marsh em 2014.

Para utilizá-lo, acesse o *site*: < <https://drajmarsh.bitbucket.io/data-view2d.html> >.

Basta “soltar” o arquivo *.epw* ou o *.csv* referente ao município que você deseja analisar na página de abertura da plataforma ou clicar em *Load EPW...* ou *LoadCSV...* no *Display Data* da ferramenta.

Depois, basta escolher o tipo de gráfico que você deseja gerar dentre as diversas opções disponíveis. O *Data View 2D* é bastante intuitivo e de fácil manipulação. Abaixo, um exemplo de gráficos gerados considerando o arquivo climático extensão *.epw* de Campo Grande / MS, tipo SWERA.

Figura 217: Temperatura de bulbo seco e irradiação solar de Campo Grande no *Data View 2D*



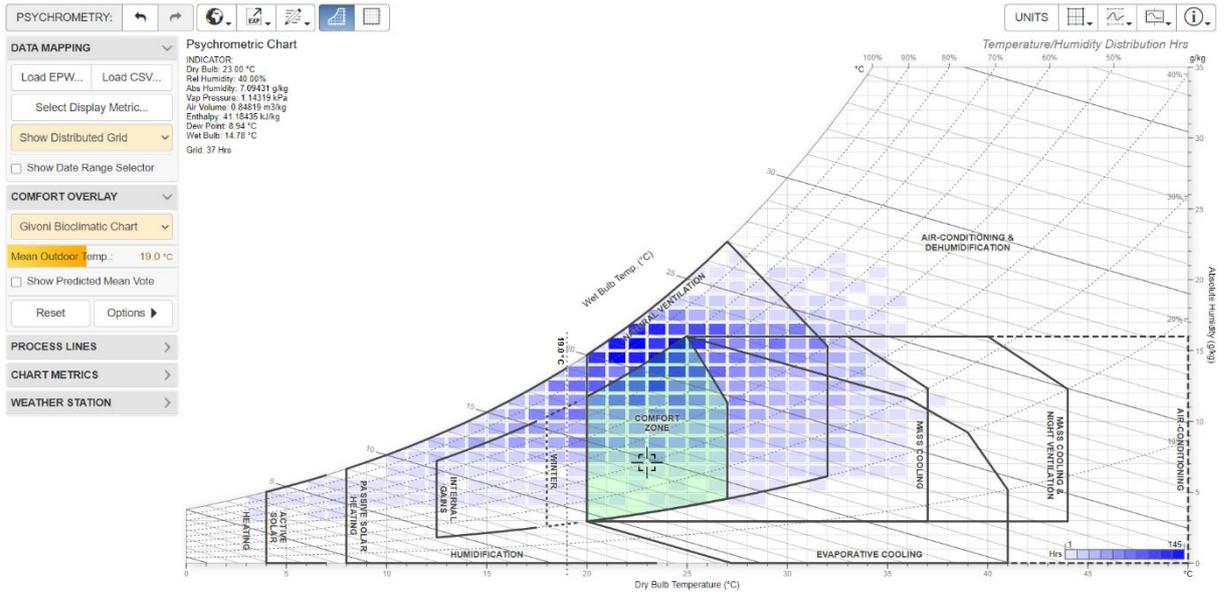
Fonte: < <https://drajmarsh.bitbucket.io/data-view2d.html> >

Também desenvolvido por Marsh em 2014, o *web app Psychrometric Chart 2D* é uma ferramenta de acesso *online* gratuito que trabalha tanto com a carta psicrométrica quando com as cartas bioclimáticas (de Givoni, por exemplo).

Acesse <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html> e insira no *Display Data* o arquivo *.epw* (em *Load EPW...*) ou *.csv* (em *Load CSV...*) referente ao município que você quer analisar.

A Figura 218 apresenta a carta bioclimática de Givoni para Campo Grande / MS.

Figura 218: Carta bioclimática para Campo Grande/MS gerada a partir do *Psychrometric Chart 2D*



Fonte: < <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html> >

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ADEREE. Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique. **Règlement Thermique de Construction au Maroc**. Rabat, Marrocos, 2011.

ARAYA, A.; KEESSTRA, S. D.; STROOSNIJDER, L. A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 7-8, p. 1057-1064, 2010.

ASHRAE. **Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2013.

ASHRAE. **Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2017.

CAMPOS NAVARRO, F. E. **Arquitetura e clima na Bolívia: uma proposta de zoneamento bioclimático**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CLIMATE CONSULTANT. Programa de análise de dados climáticos, versão 6.0. Disponível em: < <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant> >. Acesso em: 10/08/2020.

CONRADIE, D.; VAN REENEN, T.; BOLE, S. Degree-day building energy reference map for South Africa. **Building Research & Information**, v. 46, n. 2, p. 191-206, 2018.

DATA VIEW 2D. Plataforma *online* desenvolvida por Andrew J. Marsh, 2014. Disponível em: < <https://drajmarsh.bitbucket.io/data-view2d.html> >. Acessado em: 11/08/2020.

DEKAY, M.; BROWN G. Z. **Sol, Vento e Luz. Estratégias para o projeto de arquitetura**. Tradução de Alexandre F. da Silva. 2a.ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

KOTTEK, M. *et al.* World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acessado em: 02/07/2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2016.

LIN, T. P.; MATZARAKIS, A. Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China. **Tourism Management**, v. 32, n. 3, p. 492-500, 2011.

LIU, P.C.; LIN, H.T.; CHOU, J.H. Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using computational fluid dynamics and reduced-scale air model. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1970-1979, 2009.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. 4ª ed. Princeton: Princeton University Press, 1973.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: <<http://ProjetEEE.mma.gov.br/>>. Acesso em: 24/07/2020.

PSYCHROMETRIC CHART 2D. Plataforma *online* desenvolvida por Andrew J. Marsh, 2014. Disponível em: <<https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>>. Acesso em: 11/08/2020.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bioclimatic zoning of Brazil: a proposal based on the Givoni and Mahoney Methods. In: **PLEA'99 Conference**, p. 211-216, 1999.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2012a.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2012b.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2013.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0**. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Carlos, 2014.

SCHELLER, C. *et al.* **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE, UFSC, Florianópolis, 2015.

VETTORAZZI, E.; RUSSI, M.; SANTOS, J. C. P. A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar. In: Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social – CHIS. **Anais** [...], Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. C. Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. **Building and Environment**, v. 112, p. 337-350, 2017.

WALSH-GARCÍA, A. S. **Thermal performance oriented climatic zoning for buildings.** 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidades) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

ZBBR 1.1. ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO BRASIL. Programa computacional desenvolvido por Maurício Roriz. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

# APÊNDICE

---

## DO MÓDULO IV

# CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS E O MÉTODO DA ESPESSURA EQUIVALENTE

Neste apêndice é apresentado um resumo das equações para o cálculo das propriedades térmicas dos materiais de acordo com a norma NBR 15.220:2005 (ABNT, 2005). Na sequência, o método para determinação da espessura equivalente de componentes construtivos para uso no programa *EnergyPlus*<sup>TM</sup>, conforme os procedimentos constantes em Weber *et al.* (2017). Para informações mais detalhadas, consulte as fontes originais.

## CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS

### 1) RESISTÊNCIA TÉRMICA

1.1) Para o cálculo da resistência térmica de elementos de apenas um material (uma camada), utiliza-se a seguinte equação:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Onde:

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| <b>R</b> | É a resistência térmica do elemento [m <sup>2</sup> K/W] |
| <b>E</b> | É a espessura do material [m]                            |
| <b>λ</b> | É a condutividade térmica do material [W/mK]             |

1.2) A resistência térmica superfície à superfície ( $R_t$ ) de componentes construtivos homogêneos com vários materiais “em série”, pode ser obtida a partir da fórmula:

$$R_t = \left(\frac{e}{\lambda}\right)_1 + \dots \left(\frac{e}{\lambda}\right)_i + \dots \left(\frac{e}{\lambda}\right)_n = \sum_i^n \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Ou simplesmente:

$$R_t = R_1 + \dots R_i + \dots R_n = \sum_i^n R_i$$

Em que:

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_i$     | É a resistência térmica do componente, superfície a superfície [m <sup>2</sup> K/W] |
| $e$       | É a espessura da camada do elemento [m]                                             |
| $\lambda$ | É a condutividade térmica de cada camada do elemento [W/m.K]                        |
| $i$       | É a $i$ ésima camada do elemento.                                                   |
| $n$       | É a quantidade total de camadas do elemento.                                        |

1.3) Para componentes construtivos heterogêneos com os materiais constituintes dispostos “em paralelo”:

Primeiro, calcula-se a resistência térmica de cada seção, superfície a superfície (a, b, c, ..., n), conforme a expressão abaixo:

$$R_a = R_{1,a} + \dots R_{i,a} + \dots R_{n,a} = \sum_i^n R_{i,a}$$
$$R_b = R_{1,b} + \dots R_{i,b} + \dots R_{n,b} = \sum_i^n R_{i,b}$$

Onde:

|       |                                                                                                |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_a$ | Resistência térmica da seção “a” do elemento, superfície a superfície [m <sup>2</sup> K/W]     |
| $R_b$ | É a resistência térmica da seção “b” do elemento, superfície a superfície [m <sup>2</sup> K/W] |

Depois, calcula-se a área transversal (para o fluxo de calor) de cada seção (a, b, c, ..., n):

**Seção a → A<sub>a</sub>**

**Seção b → A<sub>b</sub>**

...

Sendo:

|       |                                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_a$ | É a área transversal da seção “a” do elemento [m <sup>2</sup> ]                     |
| $A_b$ | É a área transversal da seção “b” do elemento [m <sup>2</sup> ], e assim por diante |

Finalmente, calcula-se a resistência térmica do componente heterogêneo superfície a superfície, de acordo com a equação:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i}}$$

Em que:

**R<sub>t</sub>** É a resistência térmica do componente heterogêneo, superfície a superfície [m<sup>2</sup>K/W]

1.4) A resistência térmica das câmaras de ar pode ser determinada a partir da Tabela 16:

Tabela 16: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

| Natureza Superfície              | Espessura “e” da camada (m) | R <sub>ar</sub> (m <sup>2</sup> K/W) |              |               |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------|
|                                  |                             | Horizontal →                         | Ascendente ↑ | Descendente ↓ |
| Alta emissividade<br>(ε > 0,80)  | e < 0,02                    | 0,14                                 | 0,13         | 0,15          |
|                                  | 0,02 ≤ e ≤ 0,05             | 0,16                                 | 0,14         | 0,18          |
|                                  | e > 0,05                    | 0,17                                 | 0,14         | 0,21          |
| Baixa emissividade<br>(ε < 0,20) | e < 0,02                    | 0,29                                 | 0,23         | 0,29          |
|                                  | 0,02 ≤ e ≤ 0,05             | 0,37                                 | 0,25         | 0,45          |
|                                  | e > 0,05                    | 0,34                                 | 0,27         | 0,61          |

Fonte: ABNT (2005)

1.5) Quanto à resistência térmica ambiente a ambiente:

De início, determinam-se as resistências térmicas superficiais internas e externas:

Tabela 17: Resistência térmica superficial interna e externa

| Tipo de superfície                                                       | Direção do fluxo de calor | Valor (m <sup>2</sup> K/W) |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Resistência superficial interna<br>R <sub>si</sub> (m <sup>2</sup> .K)/W | Horizontal →              | 0,13                       |
|                                                                          | Ascendente ↑              | 0,10                       |
|                                                                          | Descendente ↓             | 0,17                       |
| Resistência superficial externa<br>R <sub>se</sub> (m <sup>2</sup> .K)/W | Horizontal →              | 0,04                       |
|                                                                          | Ascendente ↑              | 0,04                       |
|                                                                          | Descendente ↓             | 0,04                       |

Fonte: ABNT (2005)

Então, calcula-se a resistência térmica do componente, ambiente a ambiente, conforme a seguinte equação:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Onde:

|          |                                                                                     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_t$    | É a resistência térmica do componente, superfície a superfície [m <sup>2</sup> K/W] |
| $R_T$    | É a resistência térmica do componente, ambiente a ambiente [m <sup>2</sup> K/W]     |
| $R_{se}$ | É a resistência térmica superficial externa [m <sup>2</sup> K/W]                    |
| $R_{si}$ | É a resistência térmica superficial interna [m <sup>2</sup> K/W]                    |

## 2) TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

A transmitância térmica do elemento, ambiente a ambiente, pode ser calculada a partir da fórmula:

$$U = R_T^{-1} = \frac{1}{R_T}$$

Na qual:

|       |                                                                               |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $R_T$ | É a resistência térmica do elemento, ambiente a ambiente [m <sup>2</sup> K/W] |
| $U$   | É a transmitância térmica do elemento [W/m <sup>2</sup> K]                    |

## 3) CAPACIDADE TÉRMICA

3.1) Para elementos de apenas um material (uma camada), a capacidade térmica pode ser obtida da equação:

$$C_T = \rho \times c \times e$$

Donde:

|        |                                                          |
|--------|----------------------------------------------------------|
| $C_T$  | É a capacidade térmica do elemento [kJ/m <sup>2</sup> K] |
| $\rho$ | É a massa específica do material [W/m <sup>2</sup> K]    |
| $c$    | É o calor específico do material [kJ/kg.K]               |
| $e$    | É a espessura do material [m]                            |

3.2) Para componentes construtivos homogêneos com vários materiais dispostos “em série”:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{T,a}} + \frac{A_b}{C_{T,b}} + \dots + \frac{A_n}{C_{T,n}}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{C_{t,i}}}$$

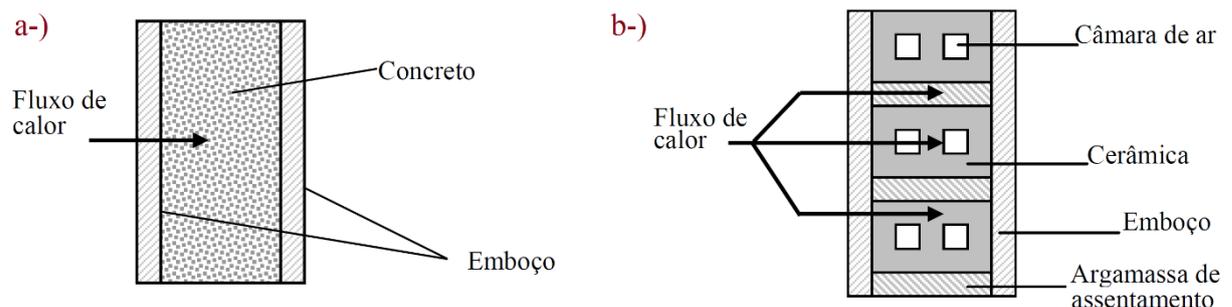
Sendo que cada parâmetro corresponde a:

|           |                                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|
| $A_a$     | É a área transversal da seção a do elemento [m <sup>2</sup> ]       |
| $A_b$     | É a área transversal da seção b do elemento [m <sup>2</sup> ]       |
| $C_{T,a}$ | É a capacidade térmica da seção a do elemento [kJ/m <sup>2</sup> K] |
| $C_{T,b}$ | É a capacidade térmica da seção b do elemento [kJ/m <sup>2</sup> K] |
| $i$       | É a <i>i</i> ésima seção do componente heterogêneo                  |
| $n$       | É a quantidade de seções do componente heterogêneo                  |

## CÁLCULO DO COMPONENTE EQUIVALENTE

Observe os componentes abaixo:

Figura 219: (a) Componentes com camadas transversais ao fluxo de calor e (b) componentes com camadas transversais e em paralelo ao sentido do fluxo de calor

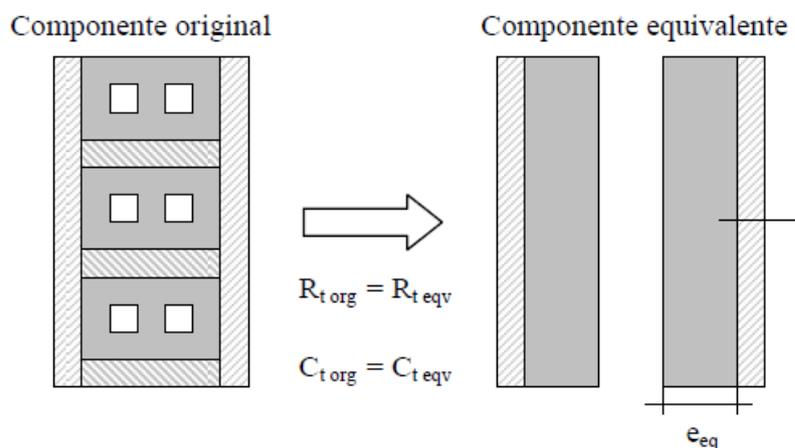


Fonte: Adaptado de Ordenes *et al.* (2003)

O primeiro refere-se a uma parede de concreto maciço revestida por argamassa. Já o segundo corresponde a uma alvenaria em blocos cerâmicos, também revestida por argamassa. Com base no que você aprendeu neste apêndice, a parede de concreto constitui um componente de três camadas homogêneas. Neste caso, a resistência térmica total entre a face interna e externa da parede seria igual à soma das resistências de cada material.

A parede de blocos cerâmicos, por sua vez, comporta camadas paralelas ao sentido do fluxo de calor (expressas pela argamassa de assentamento). Sendo assim, conforme estudamos no sétimo capítulo e no roteiro IV do Módulo IV, é necessária a conversão deste componente construtivo em um modelo equivalente (com as resistências térmicas em série) para inserção dos dados de espessura e massa específica no *EnergyPlus*™. A Figura 220 apresenta um modelo de equivalência para a parede de blocos cerâmicos exemplificada anteriormente.

Figura 220: Alternativa para conversão do componente original em um modelo equivalente



Fonte: Ordenes *et al.* (2003)

Com base em Ordenes *et al.* (2003) e, mais recentemente, Weber *et al.* (2017), tem-se o seguinte procedimento para determinação de um componente equivalente:

Primeiro, deve-se calcular as variáveis de resistência térmica superfície a superfície ( $R_t$ ) e capacidade térmica ( $C_t$ ) do material heterogêneo original:

$$R_t = \frac{e}{\lambda}$$

$$C_t = \sum_{i=1}^k e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Depois, escolhe-se uma composição de camadas em série, deixando uma das camadas como incógnita (material equivalente). Deve-se definir uma condutividade térmica  $\lambda_{eq}$  e um calor específico  $c_{eq}$  para o material equivalente, mantendo-se somente a espessura  $e_{eq}$  e a massa específica  $\rho_{eq}$  como incógnitas.

Então, soluciona-se a igualdade ( $R_{t,original} = R_{t,equivalente}$ ), encontrando a espessura do material equivalente  $e_{eq}$ .

Por fim, resolve-se a igualdade ( $C_{t,original} = C_{t,equivalente}$ ), encontrando a massa específica do material equivalente  $\rho_{eq}$ .

Na sequência, demonstraremos um exemplo de cálculo das propriedades térmicas dos materiais de um componente construtivo em paralelo, a definição de um modelo equivalente e a configuração deste objeto no *EnergyPlus*<sup>TM</sup>.

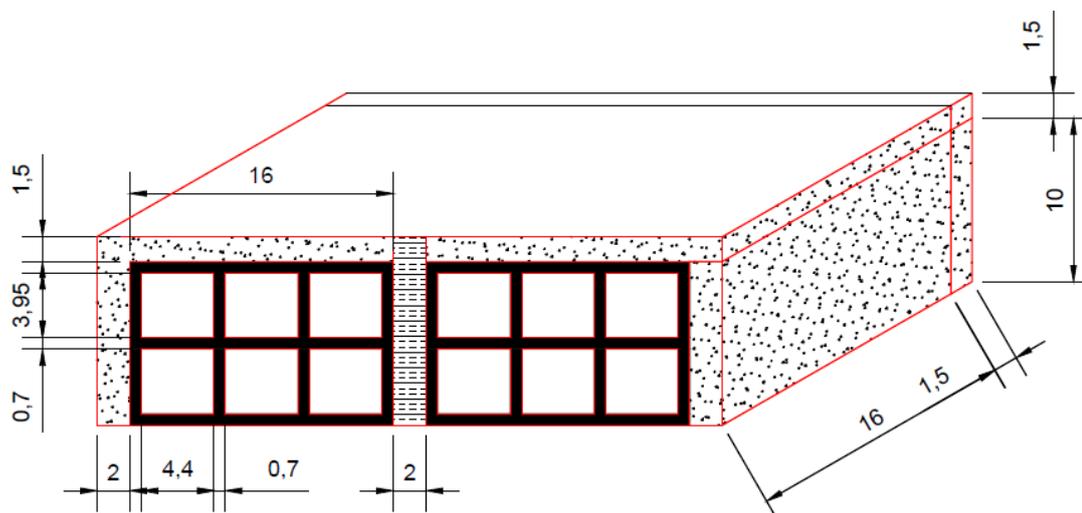
## ROTEIRO AP-MIV

# CONFIGURAÇÃO DE UM MODELO EQUIVALENTE NO PROGRAMA *ENERGYPLUS™*

---

A Figura 221 mostra um componente construtivo de parede dupla de tijolos cerâmicos de seis furos, deitados, dupla fiada, com um isolante térmico intermediário de lã de rocha, sendo assentado e revestido com argamassa.

Figura 221: Componente construtivo em dupla camada com isolamento térmico



A Tabela 18 apresenta as propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados na parede:

Tabela 18: Propriedades dos materiais da parede de condutividade térmica, massa e calor específicos

| Material    | $\lambda$ (W/m.K) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | c (kJ/kg.K) |
|-------------|-------------------|-----------------------------|-------------|
| Argamassa   | 1,150             | 2100                        | 1,00        |
| Cerâmica    | 0,700             | 1200                        | 0,92        |
| Lã de rocha | 0,045             | 45                          | 0,75        |

Com base nos dados disponíveis, vamos determinar dois cenários para um componente equivalente (com resistências térmicas em série) para o componente real da Figura 221.

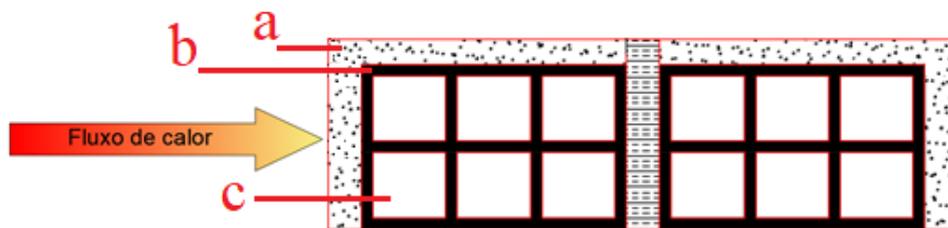


**ATENÇÃO!!!** O procedimento a seguir aventado não se debruçará no significado de cada variável, dos símbolos que as representam e das unidades de medida dos parâmetros que compõem as equações. Em caso de dúvidas em algum item, retorne ao formulário constante neste apêndice ou acesse as referências bibliográficas anteriormente citadas.

## CÁLCULO DAS ÁREAS NAS SEÇÕES TRANSVERSAIS

Primeiro, define-se as seções a partir do fluxo de calor. Em nosso exemplo, três seções estão sendo atravessadas pelo fluxo, conforme você pode visualizar abaixo.

Figura 222: Delimitação das seções transversais do componente, camada por camada



Sendo compostas respectivamente por:

**Seção "a":** argamassa – lã de rocha – argamassa (1 camada)

**Seção "b":** argamassa – cerâmica – lã de rocha – cerâmica – argamassa (3 camadas)

**Seção "c":** argamassa – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – lã de rocha – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – câmara de ar – cerâmica – argamassa (2x)

Então, as áreas de cada seção correspondem a:

$$A_a = (0,16 \times 0,015) + (0,1 \times 0,015) + 0,015^2 = 4,125 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_b = (0,16 \times 0,007) = 1,12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_c = (0,0395 \times 0,16) = 6,32 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

## CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CADA SEÇÃO

Para cada seção do componente construtivo, tem-se as seguintes resistências:

$$R_a = \sum \frac{e}{\lambda} = [2(\frac{0,02+0,16}{1,15}) + (\frac{0,02}{0,045})] = 0,7575 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_b = \sum \frac{e}{\lambda} = [2(\frac{0,02}{1,15}) + 2(\frac{0,16}{0,7}) + (\frac{0,02}{0,045})] = 0,9364 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

$$R_c = \sum \frac{e}{\lambda} = [2(\frac{0,02}{1,15}) + 8(\frac{0,007}{0,700}) + (\frac{0,02}{0,045}) + 0,16 \times 6] = 1,5192 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$$

## CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DO COMPONENTE HETEROGÊNEO

Da equação de resistência térmica superfície a superfície:  $R_t = \frac{\sum_i^n A_i}{\sum_i^n \frac{A_i}{R_i}}$

Aplicando os valores calculados das áreas e das resistências de cada seção, obtêm-se:

$$R_t = \frac{(1) \times 0,004125 + (3) \times 0,00112 + (2) \times 0,00632}{(1) \times \frac{0,004125}{0,7575} + (3) \times \frac{0,00112}{0,9364} + (2) \times \frac{0,00632}{1,5192}} = 1,15968 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

## CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DO COMPONENTE, AMBIENTE A AMBIENTE

De:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Da Tabela 17, verifica-se que  $R_{se}$  corresponde a 0,04 e  $R_{si}$  a 0,13 (valores para o fluxo no sentido horizontal). Então, somando-os à resistência térmica superfície a superfície calculada no item anterior, resulta que:

$$R_T = 0,04 + 1,15968 + 0,13 = 1,32968 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

## CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U)

A transmitância térmica do elemento corresponde a:

$$U = \frac{1}{R_T} \rightarrow U = 0,7521 \frac{m^2K}{W}$$

## CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA POR SEÇÃO (CAMADA)

Da equação geral:

$$C_T = \sum_i^n (\rho_i \cdot c_i \cdot e_i) =$$

Depreende-se que:

**Seção a:**

$$C_{Ta} = 2 (2100 \times 1,0 \times 0,18) + (45 \times 0,75 \times 0,02) = 756,675 \frac{kJ}{m^2 K}$$

**Seção b:**

$$C_{Tb} = 2 [(2100 \times 1 \times 0,02) + (1200 \times 0,92 \times 0,16)] + (45 \times 0,75 \times 0,02) = 437,955 \frac{kJ}{m^2 K}$$

**Seção c:**

$$C_{Tc} = 2 (2100 \times 1,0 \times 0,02) + 8 (1200 \times 0,92 \times 0,007) + (45 \times 0,75 \times 0,02) = 146,499 \frac{kJ}{m^2 K}$$

## CÁLCULO DA CAPACIDADE TÉRMICA EQUIVALENTE

Por fim, chega-se ao valor da capacidade térmica equivalente:

$$C_T = \frac{\sum_i^n A_i}{\sum_i^n \frac{A_i}{C_{Ti}}} = \frac{(1) \times 0,004125 + (3) \times 0,00112 + (2) \times 0,00632}{(1) \times \frac{0,004125}{756,675} + (3) \times \frac{0,00112}{437,955} + (2) \times \frac{0,00632}{146,499}} = 202,4567 \frac{kJ}{m^2 K}$$

A Tabela 19 resume as propriedades térmicas calculadas, por seção:

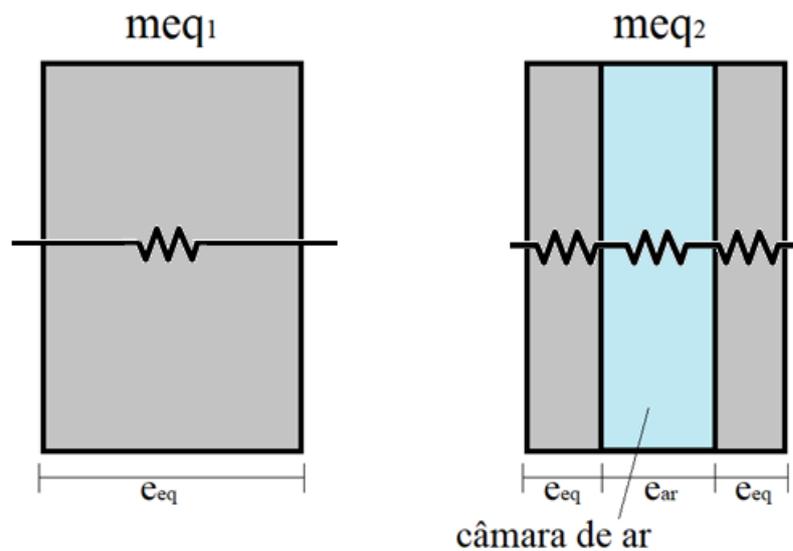
Tabela 19: Resumo das propriedades térmicas por seção

| Seção | Multiplicidade | $A_i$ (m <sup>2</sup> ) | $R_i$ (m <sup>2</sup> KW) | $C_{Ti}$ (kJ/m <sup>2</sup> K) |
|-------|----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| a     | 1              | 0,004125                | 0,7575                    | 756,575                        |
| b     | 3              | 0,001120                | 0,9364                    | 437,955                        |
| c     | 2              | 0,006320                | 1,5192                    | 146,499                        |

## DOIS CENÁRIOS PARA UM COMPONENTE EQUIVALENTE

Com base no componente construtivo real da parede dupla de tijolos cerâmicos de seis furos, deitados, dupla fiada e com isolante térmico intermediário em lã de rocha, foram criados dois cenários com as resistências em série (um sem e outro com a presença de câmara de ar), conforme a Figura 223.

Figura 223: Cenários de componente equivalente, sem e com a presença de câmara de ar



### Cenário 1 ( $meq_1$ )

O cenário 1 é mais simplificado (algo como uma parede “espessa”). Das equações:

$$\begin{cases} R_t = \frac{e_{eq}}{\lambda} \\ C_T = \rho_{eq} \cdot c \cdot e_{eq} \end{cases}$$

Lembrando que a Tabela B.2 da NBR 15.220-2:2005 (ABNT, 2005) apresenta valores de referência para as variáveis de condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente ( $\rho$ ).

Considerando uma condutividade térmica de  $\lambda = 1,00 \text{ W/m.K}$  (que é um valor próximo ao de materiais reais, como o de uma argamassa com algum ar incorporado), temos que:

$$e_{eq} = \lambda \cdot R_t = 1,00 \cdot 1,15968 = 1,16 \text{ m}$$

Adotando um valor  $c = 1,0 \text{ kJ/Kg.K}$  (condizente com materiais reais), temos que:

$$\rho_{eq} = \frac{202,4567}{1,0 \times 1,16} = 174,58 \text{ kg/m}^3$$

### ***Cenário 2 (meq<sub>2</sub>)***

O cenário 2 é um pouco mais elaborado e considera a presença de uma câmara de ar. De acordo com o modelo, tem-se que:

$$\begin{cases} R_t = 2 \frac{e_{eq}}{\lambda} + R_{ar} \\ C_T = 2 (\rho_{eq} \cdot c \cdot e_{eq}) \end{cases}$$

Considerando  $\lambda = 1,00 \text{ W/m.K}$  (próximo aos materiais reais) e  $R_{ar} = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$  (valor de resistência térmica para o fluxo de calor no sentido horizontal à câmara, atuante em uma superfície de alta emissividade e espessura da câmara de ar entre 2 e 5 cm, conforme os dados extraídos a partir da Tabela 16 deste Apêndice ou da Tabela B.1 da ABNT NBR 15.220:2005, a espessura equivalente do modelo 2 é:

$$1,15968 = 2 \frac{e_{eq}}{1,00} + 0,16 \rightarrow e_{eq} = 0,50 \text{ m}$$

Tomando o calor específico  $c = 1,0 \text{ kJ / KgK}$  (valor próximo aos materiais reais), temos:

$$202,4567 = 2(\rho_{eq} \cdot c \cdot e_{eq}) \rightarrow \rho_{eq} = 202,46 \text{ kg/m}^3$$

Concluído os cálculos, chegou-se aos seguintes valores equivalentes:

Tabela 20: Resumo das propriedades térmicas por seção

| Componente       | Espessura equivalente (m) | Massa específica equivalente (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
| meq <sub>1</sub> | 1,16                      | 174,58                                            |
| meq <sub>2</sub> | 0,50                      | 202,46                                            |

## CONFIGURANDO OS COMPONENTES EQUIVALENTES NO *ENERGYPLUS™*

Em *Material*, foram inseridos dois objetos (correspondentes aos modelos meq<sub>1</sub> e meq<sub>2</sub>), segundo os valores de espessura e massa específica calculados anteriormente.

O campo *Thickness* recebeu os valores de 1,16m e 0,50m de espessura para cada modelo equivalente. No campo *Density* foram inseridos os valores de 174,58 kg/m<sup>3</sup> e 202,46 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, para a massa específica equivalente de cada componente. Os demais campos foram configurados de acordo com o demonstrado para o *Modelo1S\_c* (Roteiro IV-c do Módulo IV).

Figura 224: Configuração de dois objetos de componentes equivalentes na classe *Material*

| Field               | Units  | Obj1   | Obj2   |
|---------------------|--------|--------|--------|
| Name                |        | meq1   | meq2   |
| Roughness           |        | Rough  | Rough  |
| Thickness           | m      | 1.16   | 0.5    |
| Conductivity        | W/m-K  | 1      | 1      |
| Density             | kg/m3  | 174.58 | 202.46 |
| Specific Heat       | J/kg-K | 1000   | 1000   |
| Thermal Absorptance |        | 0.9    | 0.9    |
| Solar Absorptance   |        | 0.7    | 0.7    |
| Visible Absorptance |        | 0.7    | 0.7    |

No *Material:AirGap* foi inserida a câmara de ar do material (cam de ar), segundo o valor de resistência térmica para o fluxo de calor no sentido horizontal à câmara, atuante em uma superfície de alta emissividade e espessura da câmara de ar entre 2 e 5 cm.

Figura 225: Configuração de um objeto corresponde à câmara de ar na classe *Material:AirGap*

| Field              | Units  | Obj1      |
|--------------------|--------|-----------|
| Name               |        | cam de ar |
| Thermal Resistance | m2-K/W | 0.16      |

Em *Construction* foram configurados os dois cenários descritos: o primeiro foi chamado de “componente1” e representa uma parede espessa e maciça. Logo, apenas o *meq1* é necessário para caracterizá-lo. O “componente2” considera uma câmara de ar intermediária. Sendo assim, os *Layers* foram inseridos camada por camada, sendo *meq2* (face externa), *cam de ar* (meio) e novamente o *meq2* fechando a face interna do componente equivalente.

Figura 226: Configuração dos componentes equivalentes na classe *Construction*

| Field         | Units | Obj1        | Obj2        |
|---------------|-------|-------------|-------------|
| Name          |       | componente1 | componente2 |
| Outside Layer |       | meq1        | meq2        |
| Layer 2       |       |             | cam de ar   |
| Layer 3       |       |             | meq2        |
| Layer 4       |       |             |             |
| Layer 5       |       |             |             |

Abaixo, um recorte de arquivo de texto com as informações dos materiais e câmara de ar visualizados a partir do *Text Editor*.

Figura 227: Configuração do *Material*, *Material:AirGap* e *Construction* vistos a partir do *Text Editor*

```

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL =====
Material,
  meq1,                !- Name
  Rough,              !- Roughness
  1.16,              !- Thickness {m}
  1,                 !- Conductivity {w/m-K}
  174.58,            !- Density {kg/m3}
  1000,              !- Specific Heat {J/kg-K}
  0.9,               !- Thermal Absorptance
  0.7,               !- Solar Absorptance
  0.7;               !- Visible Absorptance

Material,
  meq2,                !- Name
  Rough,              !- Roughness
  0.5,               !- Thickness {m}
  1,                 !- Conductivity {w/m-K}
  202.46,            !- Density {kg/m3}
  1000,              !- Specific Heat {J/kg-K}
  0.9,               !- Thermal Absorptance
  0.7,               !- Solar Absorptance
  0.7;               !- Visible Absorptance

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:AIRGAP =====
Material:AirGap,
  cam de ar,          !- Name
  0.16;              !- Thermal Resistance {m2-K/w}

!- ===== ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION =====
Construction,
  componente1,        !- Name
  meq1;              !- Outside Layer

Construction,
  componente2,        !- Name
  meq2,              !- Outside Layer
  cam de ar,         !- Layer 2
  meq2;              !- Layer 3

```

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.4.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >. Acesso em: 19/10/2020.

ORDENES, M. *et al.* **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VISUALDOE-3.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2003.

WEBER, F. S. *et al.* **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2017.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente ao objetivo de fornecer suporte aos iniciantes em simulação computacional do desempenho de edifícios, este trabalho apresentou os passos que conduziram à elaboração de um material didático, sendo o produto resultante dessa abordagem apresentado no formato de livro digital. O material pode ser acessado, visualizado na íntegra e “baixado” no site oficial do PPGEES, disponível em: < <https://ppgees.ufms.br/> >. Ainda que a propriedade intelectual tenha sido disponibilizada gratuitamente em prol da ciência e educação, reitera-se que é proibida e repudiável a comercialização e o plágio do guia, seja do todo ou de partes de seu conteúdo.

Além disso, como trata-se de um projeto piloto, é imprescindível “testá-lo” na prática e colher os resultados de seu uso (em especial, o “*feedback*” dos usuários) para detectar os pontos passíveis de aprimoramento. Esta coleta de dados do desempenho dos aprendizes ao utilizar o manual aliado às suas percepções pessoais (a qual pode ser obtida por meio de questionários) pode ser o ponto de partida para um trabalho futuro que vise a continuidade do guia apresentado, tanto para torná-lo mais completo quanto para atingir públicos que necessitam de materiais de nível mais avançado em simulação computacional termoenergética.

Neste aspecto, podem ser incluídos conteúdos relativos à modelagem e simulação de sistemas mecânicos de condicionamento/aquecimento do ar adequados à realidade brasileira ou de sistemas de climatização híbrido (ventilação natural e ar condicionado). Também poderão ser elaborados novos exercícios em adição ou substituição aos apresentados no manual. Outra alternativa seria expandir o material para o meio audiovisual, por meio da gravação de vídeos em plataformas online e gratuitas.

A combinação de texto com imagens e áudio tem-se mostrado muito proveitosa para a aprendizagem do aluno, decorrente da ampliação dos canais de comunicação. Para aqueles que desejarem dar seguimento à opção de mídias digitais, recomenda-se a leitura das obras de John Sweller, autor da Teoria da Carga Cognitiva. Em essência, a referida teoria sugere que o aprendizado ocorre melhor quando alinhado à capacidade cognitiva humana, de modo que o volume de informações passadas ao educando é compatível à sua capacidade de compreensão (SWELLER, 1988; SWELLER, 1994; SWELLER, VAN MERRIENBOER, PAAS, 1998). Com isso, acredita-se ser possível evitar a criação de conteúdos pouco didáticos e de difícil assimilação decorrente da sobrecarga de informações nos canais audiovisuais do aprendente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ANDERSON, J. R. et al. A spreading activation theory of memory. **Journal of verbal learning and verbal behavior**, v. 22, n. 3, p. 261-295, 1983.

ARNOLD, K. M.; MCDERMOTT, K. B. Test-potentiated learning: Distinguishing between direct and indirect effects of tests. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 39, n. 3, p. 940-945, 2013.

BANKS, J.; GIBSON, R. Getting started in simulation modeling. **Industrial Engineering Solutions**, v. 28, n. 11, p. 34-39, 1996.

BARETTA, G. et al. O senhor Feynman não estava brincando: a educação tecnológica brasileira. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2011. **Anais [...]**. Blumenau, 2011.

BARKER, P. G.; MANJI, K. A. Pictorial dialogue methods. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 31, n. 3, p. 323-347, 1989.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V.; LINSINGEN, I. V. **Educação Tecnológica, enfoques para o ensino de engenharia**. 2 ed. Florianópolis: EdUFSC, 2008.

BELLEZZA, F. S.; CHEESMAN, F. L.; REDDY, B. G. Organization and semantic elaboration in free recall. **Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory**, v. 3, n. 5, p. 539 - 550, 1977.

BRACKNEY, L. et al. **Building Energy Modeling with OpenStudio - A Practical Guide for Students and Professionals**. Cham: Springer, 2018.

CAMPOS, D. M. de S. **Psicologia da Aprendizagem**. 41<sup>a</sup> ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

CAREY, B. **How we learn: the surprising truth about when, where, and why it**. New York: Random House, 2014.

CARVALHO, R. S.; SAVIGNON, A. P. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 6, n. 2, p. 4-13, 2012.

CAVALCANTE, R. C. D. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CBL. Câmara Brasileira do Livro. Disponível em: < <http://cbl.org.br/> >. Acesso em: 25/09/2020.

CORBETT, A. et al. Interleaving worked examples and cognitive tutor support for algebraic modeling of problem situations. **Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society**, v. 32, p. 2882 - 2887, 2010.

COSTA, M. S. P. Maria Montessori e seu método. **Linhas Críticas**, Brasília, v. 7, n. 13, 2001.

CRAWLEY, D. B. et al. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. In: Building Simulation 2005: Ninth International IBPSA Conference. **Anais [...]**, Montréal, 2005.

CRAWLEY, D. B. et al. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and environment**, v. 43, n. 4, p. 661-673, 2008.

CUTTER, R. A. **Cutter-Sanborn three figures author table**. Englewood: Libraries Unlimited, 1969.

DDC. Dewey Decimal Classification. Disponível em: < <https://vocabularyserver.com/ddc/en/index.php> >. Acessado em: 12/11/2020.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: < <http://www.energy.gov/> >. Acesso em: 30/03/2020.

DOE. U. S. Department of Energy. **Getting Started – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020a.

DOE. U. S. Department of Energy. **Input Output Reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020b.

DOE. U. S. Department of Energy. **Engineering reference – EnergyPlus™ Version 9.4.0 Documentation**. 2020c.

ELI, L. G. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto GROUND DOMAIN no programa ENERGYPLUS - Versão 9.0.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2019.

EITEL, A.; SCHEITER, K. Picture or text first? Explaining sequence effects when learning with pictures and text. **Educational psychology review**, v. 27, n. 1, p. 153-180, 2015.

ENERGYPLUS™. Programa de simulação computacional termoenergética, versão 9.3.0. Disponível em: < <https://energyplus.net/downloads> >. Acesso em: 03/04/2020.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. **Building performance simulation for design and operation**. New York: Spon Press, 2011.

FEYNMAN, R. P. **O senhor está brincando, senhor Feynman!** Rio de Janeiro: Editora Campus, 2006.

FIECHTER, J. L.; BENJAMIN, A. S. Diminishing-cues retrieval practice: a memory-enhancing technique that works when regular testing doesn't. **Psychonomic bulletin & review**, v. 25, n. 5, p. 1868-1876, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2002.

JACOSKI, C. A.; SCHWARTZ, E. O uso de ferramentas computacionais e de TIC em cursos de graduação demandado pelo ensino de projeto. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Campina Grande - PB. **Anais [...]**. Campina Grande: UFPE, 2005.

JÓFILI, Z. Piaget, Vygotsky, Freire e a construção do conhecimento na escola. **Educação: teorias e práticas**, v. 2, n. 2, p. 191-208, 2002.

KUBO, K. G. **A influência das variáveis do Design Day, consideradas na simulação com o EnergyPlus e desconsideradas pela NBR 15575/2013, nos resultados de desempenho térmico de edificações.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads>>. Acessado em: 22/09/2019.

LIBÂNEO, J. C. **Didática.** São Paulo: Cortez, 2017.

MAYER, R. E.; GALLINI, J. K. When is an illustration worth ten thousand words? **Journal of educational psychology**, v. 82, n. 4, p. 715 - 726, 1990.

MAZZAFERRO, L. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador SLAB no programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2013.

MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto GROUND DOMAIN no programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2015.

MEKSENAS, P. O uso do material didático e a pedagogia da comunicação. In: PENTEADO, H. D. **Pedagogia da Comunicação: teoria e práticas.** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

MELO, A. P. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2008.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus.** Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2009.

MICHAELIS. **Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. 2 ed. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda., 2015.

NÓVOA, A. Educação 2021: Para uma história do futuro. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 49, n. 1, p. 181-199, 2009.

OPENSTUDIO®. Programa de simulação computacional de energia, versão 3.0.0. Disponível em: < <https://www.openstudio.net/downloads> >. Acesso em: 05/04/2020.

ORDENES, M. et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VISUALDOE-3.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2003.

PACHECO, R. C. S.; NASCIMENTO, E. R.; WEBER, R. O. Digital science: cyberinfrastructure, e-Science and citizen science. In: NORTH, K.; MAIER, R; HAAS, O. **Knowledge Management in Digital Change: New Findings and Practical Cases**. Cham: Springer, 2018. p. 377-388.

PALFREY, J.; GASSER, U. **Nascidos na era digital: entendendo a primeira geração de nativos digitais**. Tradução de Magda França Lopes. Revisão técnica de Paulo Gileno Cysneiros. Porto Alegre: Penso Editora, 2011.

PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. **Introdução ao VISUALDOE-2 versão 2.61**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 1998.

PEDRINI, A.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. **Treinamento para o programa VISUALDOE-2 versão 2.61**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 1999.

PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. **Treinamento para o programa VISUALDOE 3 versão 3.1.180**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2003.

PEREIRA, H. A. C. et al. Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2013.

PIAZZI, P. **Aprendendo Inteligência: manual de instruções do cérebro para alunos em geral**. São Paulo: Editora Aleph, 2008.

PIOVESAN, J. et al. **Psicologia do desenvolvimento e da aprendizagem**. Santa Maria: UFSM NTE, 2018.

PPGEES. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade. Disponível em: < <https://ppgees.ufms.br/> >. Acesso em: 25/09/2020.

PRESSMAN, R. S; MAXIM, B. R. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. Tradução de João Eduardo Nóbrega Tortello. Revisão técnica de Reginaldo Arakaki, Julio Arakaki e Renato Manzan de Andrade. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

RODRIGUES, F. D. S. **Serviço de Visualização 3D Interativa em Ambiente Web de Simulações do Consumo Energético de Edifícios**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática e Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

ROEDIGER, H. L. Applying cognitive psychology to education: translational educational science. **Psychological Science in the Public Interest**, v. 14, n. 1, p. 1-3, 2013.

SANTOS, L. G. R. et al. Simulação computacional termoenergética na arquitetura: avaliação do desempenho térmico de uma edificação de ensino localizada em Brasília DF. **Arquitextos**, ano 17, n. 203.04, 2017.

SEGALL, M. L. Modelagem tridimensional real e ensino de arquitetura. Ferramenta de projeto e construção de repertório. **Arquitextos**, ano 08, n. 091.07, 2007.

SENA, R. M. **Construindo sentidos sobre o ensino de ciências no contexto da pedagogia Waldorf**. 2013. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988.

SWELLER, J. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. **Learning and instruction**, v. 4, n. 4, p. 295-312, 1994.

SWELLER, J.; VAN MERRIENBOER, J. J. G.; PAAS, F. G. W. C. Cognitive architecture and instructional design. **Educational psychology review**, v. 10, n. 3, p. 251-296, 1998.

TRAFTON, J. G.; REISER, B. J. **Studying examples and solving problems: Contributions to skill acquisition**. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1993.

UDCS. Universal Decimal Classification Summary. Disponível em: <<http://www.udcsummary.info/php/index.php>>. Acessado em: 12/11/2020.

URBAN, A. C.; MAIA, C. M.; SCHEIBEL, M. F. **Didática: Organização do Trabalho Pedagógico**. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

VALENTE, J. A. et al. O computador na sociedade do conhecimento. **Ministério da Educação**, 2000.

VEIGA, I. P. A. et al. **Repensando a didática**. 26 ed. Campinas: Papyrus, 2008.

VEIGA, R. K. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa ENERGYPLUS - Versão 9.0.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2019a.

VEIGA, R. K. et al. **Manual de uso do ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS) no programa ENERGYPLUS - Versão 9.1**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2019b.

VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **[TUTORIAL OPENSTÚDIO 1.0] Plugin do EnergyPlus para Sketchup**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2010.

WEINSTEIN, Y.; MADAN, C. R.; SUMERACKI, M. A. Teaching the science of learning. **Cognitive Research: Principles and Implications**, v. 3, n. 1, p. 1 - 17, 2018.

WEBER, F. S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2017.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. **Introdução ao EnergyPlus**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. LabEEE/UFSC. Florianópolis, 2006.