

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

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE
ACV APLICADO A PAREDES DE EDIFICAÇÕES

ALINE DOS SANTOS MIRANDA

CAMPO GRANDE

2017

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

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE
ACV APLICADO A PAREDES DE EDIFICAÇÕES

ALINE DOS SANTOS MIRANDA

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

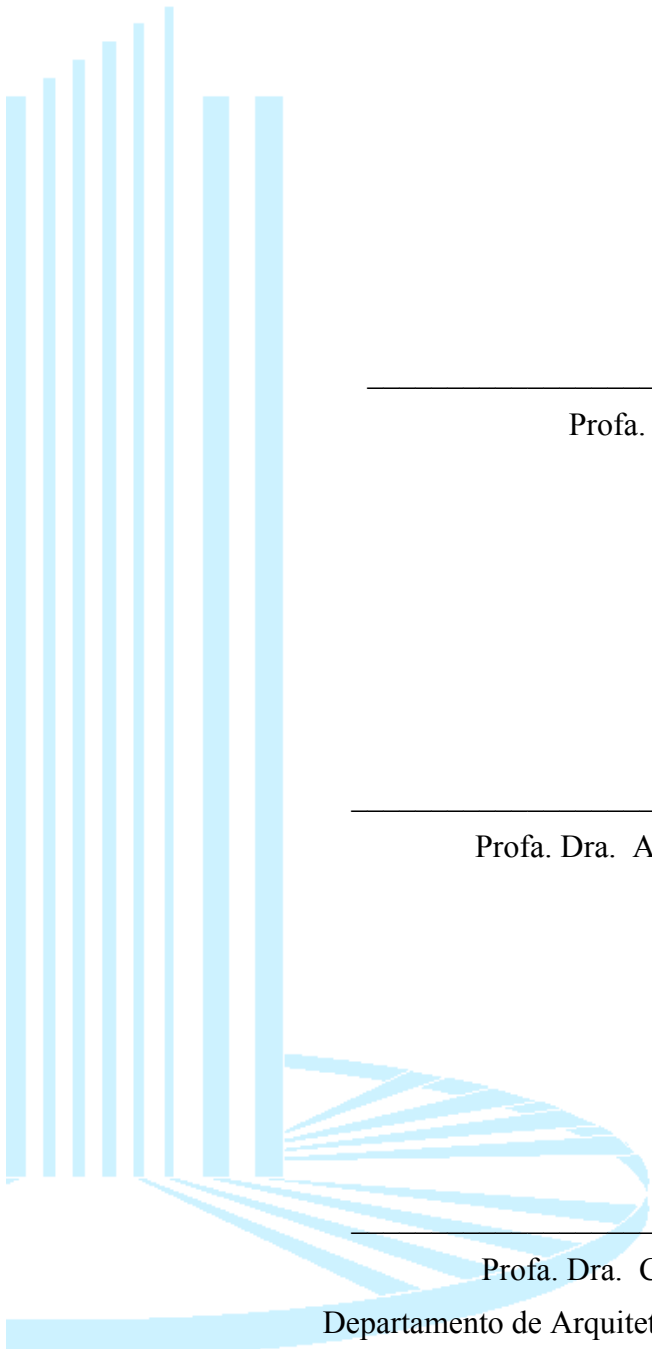
Orientadora: Profa. Dra. ANDREA NAGUISSA YUBA

CAMPO GRANDE

AGOSTO/2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **ALINE DOS SANTOS MIRANDA**, aprovada pela Comissão Julgadora em 29 de Agosto de 2017, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Profa. Dra. Andrea Naguissa Yuba – Orientadora
FAENG/UFMS

Profa. Dra. Ana Paula da Silva Milani – Membro Titular
FAENG/UFMS

Profa. Dra. Cristina Engel de Alvarez – Membro Titular
Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Artes /UFES

RESUMO

MIRANDA, Aline dos Santos, (2017). Análise comparativa de métodos simplificados de ACV aplicado a paredes. Campo Grande, 2017. 170 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

O setor da construção civil gera grandes impactos ambientais ao longo do ciclo de vida e a Avaliação do Ciclo de Vida têm sido adotada como ferramenta para contabilizar e analisar esses impactos. Devido a sua complexidade métodos simplificados vem sendo desenvolvidos, porém, ainda sob alguns questionamentos, relativos às diferenças entre resultados obtidos por ACVs completas e simplificadas, e à falta de homogeneidade entre os métodos. Tendo em vista que as paredes têm um impacto significativo na escolha de um sistema construtivo, neste trabalho, foi feita análise comparativa de diferentes sistemas de paredes de edificações (taipa de pilão mecanizada, bloco cerâmico furado, bloco de concreto e concreto moldado *in loco*) utilizando-se três métodos simplificados de ACV voltados para a construção civil (ACV Modular- Brasil, IE4B-Canadá, e BEES -EUA) objetivando comparar o desempenho ambiental de sistemas construtivos de paredes sob a avaliação de diferentes métodos simplificados de ACV. Para a análise, foram utilizadas como referência as paredes construídas em taipa de pilão mecanizada de uma edificação existente, e para os demais processos construtivos foram adotadas medidas da literatura. Para cada método de ACV foi feito um *ranking* de desempenho ambiental das paredes para identificar diferenças entre os resultados dos métodos escolhidos. Os resultados obtidos demonstram que para as três metodologias estudadas, as paredes em concreto moldadas *in loco* têm os maiores impactos ambientais, porém, para as outras paredes os resultados apresentam algumas variações entre si. Essas variações se devem, principalmente, às diferenças na quantidade de impactos consideradas por cada método e pelas diferenças nos fatores de caracterização, no caso do IE4B e do BEES. A utilização de três métodos diferentes ressaltou que, apesar de todos seguirem a estrutura padrão da ACV, a falta de definições mais claras sobre como cada etapa deve ser realizada (e principalmente, o seu grau de profundidade) gerou muitas diferenças, inclusive de resultados finais, o que não contribui para o objetivo maior da ACV, que é a tomada de decisão. Por fim, este trabalho apresenta dados que podem contribuir para a formação de bancos de dados sobre paredes para o cálculo de ACV simplificada.

Palavras-chaves: ACV modular, taipa de pilão, desenvolvimento sustentável, IE4B, BEES.

ABSTRACT

The building sector generates significant environmental impacts throughout the life cycle, so the LCA can be an efficient method to analyze these impacts. However, this method is complex, and as a way to address these issues, some simplified methods have been developed, under critics, because of the differences between the complete and simplified method and the many procedures available. As the walls are an important part of a building system definition, this research performed a comparative analysis of 4 wall systems (mechanized rammed earth, hollow ceramic brick, concrete block and cast-in-place concrete) using 3 simplified methods of LCA (ACV-m-Brazil, IE4B-Canada, and BEES-USA) aiming to compare the environmental performance of wall systems under different simplified LCA methods. For the analysis, it was used the mechanized rammed earth walls of a real building, and for the other walls, some literature review was performed. For each LCA method was made an environmental performance ranking of the walls to identify differences among the results of the chosen methods. The results show that for the three methods studied, the cast-in-place concrete walls have the greatest environmental impacts, but, for the other walls the results vary. These variations are mainly due to the differences in the amount of impacts considered by each method and the differences in the characterization factors, in the case of IE4B and BEES. The use of 3 different methods pointed out that although all of them follow the normalized LCA structure, there is no clear definitions about how each step must be done (and, specially how deep each one has to be), generating many differences, in intermediate and final results, that do not help to achieve the major objective of LCA, the decision making. And also, this work presents data that can contribute to create walls databases for simplified LCA.

Keywords: simplified LCA, rammed earth, sustainable development, IE4B, BEES, walls.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema da fase de avaliação de impacto da ACV	21
Figura 2. Fases de uma ACV	22
Figura 3. Categorias de impacto mid-point e end-point	23
Figura 4. Fases do ciclo de vida dos edifícios	27
Figura 5. Simplificação dos fluxos de saída da combustão do diesel.....	32
Figura 6. Simplificação dos indicadores de impacto ambiental	33
Figura 7. Simplificação dos limites do sistema	33
Figura 8. Resultados do SimaPro e GaBi para a ecotoxicidade aquática	35
Figura 9. Protótipo de habitação.....	41
Figura 10. Planta do protótipo de habitação.....	41
Figura 11. Ciclo de vida das paredes de taipa mecanizada	44
Figura 12. Ciclo de vida das paredes de blocos de cerâmicos furados.....	46
Figura 13. Ciclo de vida das paredes de blocos de concreto	47
Figura 14. Ciclo de vida das paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	48
Figura 15. Esquema da pontuação do BEES	56
Figura 16. Exemplo de comparação de produtos pelo BEES.....	59
Figura 17. Exemplo de pontuação por escala.....	60
Figura 18. Fronteiras do sistema de paredes de taipa.....	68
Figura 19. Fronteiras do sistema das paredes de blocos cerâmicos furados.....	73
Figura 20. Fronteiras do sistema das paredes de blocos de concreto	79
Figura 21. Fronteiras do sistema das paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	84
Figura 22. Emissão de CO ₂ incorporada (kg CO ₂) para cada parede - ACV-m.....	91
Figura 23. Energia incorporada (MJ) de cada parede - ACV-m	92
Figura 24. Consumo de água (litros) de cada parede - ACV-m	92

Figura 25. Consumo de matérias-primas (kg) de cada parede - ACV-m.....	93
Figura 26. Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq) de cada parede - IE4B	100
Figura 27. Potencial de acidificação (kg SO ₂ eq) de cada parede - IE4B.....	101
Figura 28. Potencial de eutrofização do ar (kg N eq) de cada parede - IE4B.....	101
Figura 29. Poluição atmosférica (PM _{2,5} eq) de cada parede - IE4B.....	102
Figura 30. Potencial de formação de <i>smog</i> (kg O ₃ eq) de cada parede - IE4B	103
Figura 31. Consumo total de energia primária (MJ) de cada parede - IE4B	103
Figura 32. Consumo de energia não renovável (MJ) de cada parede - IE4B	104
Figura 33. Consumo combustível fóssil (MJ) de cada parede do IE4B.....	105
Figura 34. Potencial de aquecimento global de cada parede- BEES	113
Figura 35. Potencial de acidificação de cada parede – BEES.....	113
Figura 36. Potencial de eutrofização de cada parede - BEES.....	114
Figura 37. Depleção de combustível fóssil de cada parede - BEES.....	115
Figura 38. Consumo de água de cada parede - BEES.....	115
Figura 39. Potencial de poluição atmosférica de cada parede - BEES	116
Figura 40. Saúde humana de cada parede - BEES.....	117
Figura 41. Potencial de formação de <i>smog</i> de cada parede – BEES	117
Figura 42. Toxicidade ecológica de cada parede - BEES.....	118
Figura 43. Pontuação final de cada parede - BEES	119
Figura 44. Desempenho das paredes para o aquecimento global dos três métodos.....	129
Figura 45. Desempenho das paredes para o potencial de acidificação do IE4B e do BEES .	130
Figura 46. Desempenho das paredes para o potencial de eutrofização do IE4B e do BEES.	131
Figura 47. Desempenho das paredes para a poluição atmosférica do IE4B e do BEES.....	132
Figura 48. Desempenho das paredes para o potencial de formação de <i>smog</i> do IE4B e do BEES.....	133
Figura 49. Comparação entre os <i>rankings</i> das paredes de cada método.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ferramentas de ACV para uso geral.....	22
Tabela 2. Métodos de avaliação de impactos para ACV.....	24
Tabela 3. Ferramentas de ACV específicas para a construção civil.....	29
Tabela 4. Barreiras para a utilização da ACV na construção civil.....	29
Tabela 5. Materiais utilizados no edifício de referência.....	43
Tabela 6. Trabalhos que utilizaram as ferramentas BEES ou Athena.....	50
Tabela 7. Indicadores de impacto da ACV-m	51
Tabela 8. Categorias de impacto e fatores de caracterização do IE4B.....	54
Tabela 9. Categorias de impacto e fatores de caracterização do BEES	57
Tabela 10. Valores de normalização do BEES.....	57
Tabela 11. Valores de ponderação do BEES.....	58
Tabela 12. Classificação das paredes e pontuação considerada	61
Tabela 13. Propriedades dos sistemas construtivos.....	63
Tabela 14. Densidade dos materiais	64
Tabela 15. Dados dos equipamentos	66
Tabela 16. Distâncias consideradas	67
Tabela 17. Quantificação das matérias-primas da parede de taipa.....	68
Tabela 18. Consumo de combustível para transporte - parede de taipa	69
Tabela 19. Tempo de uso da betoneira.....	70
Tabela 20. Tempo de uso do compactador pneumático	71
Tabela 21. ICV das paredes de taipa	72
Tabela 22. Dados para a quantificação de materiais para os blocos cerâmicos furados	74
Tabela 23. Quantificação de materiais da parede de blocos cerâmicos furados.....	75

Tabela 24. Consumo de combustível para transporte - parede de blocos cerâmicos furados..	76
Tabela 25. ICV das paredes de blocos cerâmicos furados.....	77
Tabela 26. Dados para a quantificação de materiais para os blocos de concreto	79
Tabela 27. Quantificação dos materiais da parede em blocos de concreto.....	80
Tabela 28. Consumo de combustível para transporte - parede de blocos de concreto	81
Tabela 29. ICV das paredes de blocos de concreto.....	82
Tabela 30. Dados para a quantificação de materiais para as paredes de concreto moldado <i>in loco</i> .	85
Tabela 31. Quantificação dos materiais das paredes em concreto moldado <i>in loco</i>	85
Tabela 32. Consumo de combustível para transporte - paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	86
Tabela 33. ICV das paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	86
Tabela 34. Resultados do ACV-m para cada parede	90
Tabela 35. Contribuição das fases do ciclo de vida na emissão de CO ₂ incorporado em cada parede – ACV-m.....	91
Tabela 36. Contribuição das fases do ciclo de vida na energia incorporada de cada parede – ACV-m.....	92
Tabela 37. Contribuição das fases do ciclo de vida no consumo de água em cada parede – ACV-m.....	93
Tabela 38. Contribuição das fases do ciclo de vida no consumo de matérias-primas em cada parede – ACV-m.....	93
Tabela 39. Primeira tentativa de ranqueamento das paredes para o ACV-m	94
Tabela 40. Resultados totais da ACV-m para cada parede	94
Tabela 41. Diferença entre as paredes e a parede de taipa pelo ACV-m.....	95
Tabela 42. Primeira pontuação das paredes para o ACV-m	95
Tabela 43. Primeiro <i>ranking</i> das paredes para o ACV-m.....	95
Tabela 44. Segunda pontuação das paredes para o ACV-m	96
Tabela 45. Segundo <i>ranking</i> das paredes para o ACV-m.....	96
Tabela 46. Diferenças entre o desempenho das paredes para o ACV-m	97

Tabela 47. Resultados da IE4B para as paredes	98
Tabela 48. Contribuição das fases do ciclo de vida potencial de aquecimento global em cada parede – IE4B	100
Tabela 49. Contribuição das fases do ciclo de vida potencial de acidificação em cada parede – IE4B.....	101
Tabela 50. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de eutrofização do ar em cada parede – IE4B	102
Tabela 51. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de poluição atmosférica em cada parede – IE4B.....	102
Tabela 52. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de formação de smog em cada parede – IE4B	103
Tabela 53. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo total de energia primária em cada parede – IE4B.....	104
Tabela 54. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo de energia não renovável em cada parede – IE4B.....	104
Tabela 55. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo combustível fóssil em cada parede – IE4B	105
Tabela 56. Resultados totais das paredes pelo IE4B	105
Tabela 57. Diferença entre as paredes e a parede de taipa pelo IE4B.....	106
Tabela 58. Primeira pontuação das paredes para o IE4B	107
Tabela 59. Primeiro ranking das paredes pelo método IE4B	107
Tabela 60. Segunda pontuação das paredes para o IE4B	108
Tabela 61. Segundo <i>ranking</i> das paredes pelo método IE4B	108
Tabela 62. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo IE4B	109
Tabela 63. Resultados do BEES para as paredes	111
Tabela 64. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de aquecimento global em cada parede – BEES	113

Tabela 65. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de acidificação em cada parede – BEES	114
Tabela 66. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de eutrofização em cada parede – BEES	114
Tabela 67. Contribuição das fases do ciclo de vida da esgotamento de combustível fóssil em cada parede –BEES	115
Tabela 68. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo de água em cada parede – BEES.....	116
Tabela 69. Contribuição das fases do potencial de poluição atmosférica em cada parede – BEES.....	116
Tabela 70. Contribuição das fases da saúde humana em cada parede – BEES	117
Tabela 71. Contribuição das fases do potencial de formação de smog em cada parede – BEES	118
Tabela 72. Contribuição das fases do toxicidade ecológica em cada parede – BEES	118
Tabela 73. Pontuação final do BEES	119
Tabela 74. Ranking das paredes pelo método BEES	119
Tabela 75. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo BEES	120
Tabela 76. Influência (%) dos pontos de impacto na pontuação final de cada parede	122
Tabela 77. Tipos e fontes de incertezas	123
Tabela 78. Informações relativas aos dados das alternativas construtivas	125
Tabela 79. Informações relativas aos dados das energias e emissões incorporadas.....	125
Tabela 80. Diferenças de desempenho das paredes para o aquecimento global dos três métodos	128
Tabela 81. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de acidificação dos três métodos	129
Tabela 82. Fatores de caracterização para o potencial de acidificação do IE4B e do BEES.	130
Tabela 83. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de eutrofização dos três métodos	130

Tabela 84. Diferenças de desempenho das paredes para a poluição atmosférica dos três métodos.....	131
Tabela 85. Fatores de caracterização para poluição atmosférica do IE4B e do BEES.....	132
Tabela 86. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de formação de <i>smog</i> dos três métodos.....	132
Tabela 87. Fatores de caracterização para potencial de formação de <i>smog</i> do IE4B e do BEES	133
Tabela 88. Influência (%) das categorias de impacto na pontuação final para cada método .	134
Tabela 89. Influência (%) das categorias de impacto únicas na pontuação final de cada método	135
Tabela 90. Influência (%) das categorias de impacto semelhantes na pontuação final de cada método	136
Tabela 91. Influência (%) da emissão de CO ₂ na pontuação final de cada método	137
Tabela 92. Comparação entre os <i>rankings</i> das paredes pelos três métodos	137
Tabela 93. Análise das pontuações do ACV-m para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto.....	139
Tabela 94. Análise das pontuações do IE4B para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto.....	139
Tabela 95. Análise das pontuações do BEES para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto.....	140
Tabela 96. Diferenças entre as pontuações totais dos três métodos.....	140
Tabela 97. Comparação entre os <i>rankings</i> das paredes pelos três métodos após avaliação de diferenças.....	142

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCV	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BEES	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>
BlocoBrasil	Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto
BPF	Baixo Ponto de Fluidez
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IE4B	<i>Impact Estimator for Buildings</i>
IPTS	<i>Institut for Prospective Technological Studies</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Norma Brasileira Regulamentada
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
TRACI	<i>Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts</i>
T&E	<i>Threatened and Endangered</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	13
SUMÁRIO	14
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos.....	19
2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	20
2.1 Definição de ACV	20
2.1.1 Métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	23
2.2 Breve histórico da ACV	26
2.3 ACV na construção civil	27
2.4 ACV simplificado.....	31
2.5 Comparação de métodos de ACV	34
2.6 ACV aplicado a paredes	36
3 MÉTODO	38
3.1 Coleta de dados e elaboração de inventário.....	39
3.2 Os sistemas de paredes estudados	40
3.2.1 Edifício de referência	41
3.2.2 Paredes de taipa de pilão mecanizada.....	43
3.2.3 Paredes de blocos cerâmicos furados	45

3.2.4	Paredes de blocos de concreto	46
3.2.5	Paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	47
3.3	Considerações para realização das ACVs.....	49
3.3.1	Os métodos de simplificados ACV adotados	49
3.3.1.1	Avaliação do Ciclo de Vida Modular – ACV-m.....	51
3.3.1.2	<i>Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts</i> – TRACI	52
3.3.1.3	<i>Impact Estimator for Buildings</i> –IE4B	54
3.3.1.4	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i> – BEES..	55
3.4	Considerações para comparação dos métodos de ACV	59
3.5	Limitações da pesquisa	61
4	RESULTADOS	62
4.1	Definição de objetivo e escopo	63
4.2	Análise de inventário	64
4.2.1	Coleta de dados para elaboração do ICV	64
4.2.2	Considerações sobre os equipamentos e veículos.....	65
4.2.3	Jazidas e fábricas consideradas	66
4.2.4	Elaboração do ICV das paredes de taipa mecanizada.....	67
4.2.4.1	Quantificação dos materiais	68
4.2.4.2	Cálculos para elaboração do ICV.....	69
4.2.4.3	Inventário das paredes de taipa	72
4.2.5	Elaboração de ICV das paredes de blocos cerâmicos furados	73
4.2.5.1	Quantificação dos materiais	74
4.2.5.2	Cálculos para elaboração do ICV.....	75
4.2.5.3	Inventário das paredes de blocos cerâmicos furados	76
4.2.6	Elaboração do ICV das paredes de blocos de concreto	78

4.2.6.1	Quantificação dos materiais.....	79
4.2.6.2	Cálculos para elaboração do ICV	80
4.2.6.3	Inventário das paredes de blocos de concreto.....	82
4.2.7	Elaboração de inventário das paredes de concreto moldada <i>in loco</i>	84
4.2.7.1	Quantificação dos materiais.....	84
4.2.7.2	Cálculos para elaboração do ICV	85
4.2.7.3	Inventário das paredes de concreto moldado <i>in loco</i>	86
4.3	Avaliação de impacto e interpretação.....	89
4.3.1	Resultados da ACV-m.....	89
4.3.1.1	Classificação final das paredes	93
4.3.2	Resultados da IE4B – Athena.....	98
4.3.2.1	Classificação final das paredes	105
4.3.3	Resultados do BEES.....	110
4.3.3.1	Classificação final das paredes	118
4.3.4	Pontos-chave causadores de impacto dos sistemas construtivos de parede 122	
4.3.5	Análise de incertezas	123
4.4	Comparação dos resultados dos métodos	127
4.4.1	Comparação entre as categorias de impacto.....	127
4.4.2	Comparação entre os <i>rankings</i>	137
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	143
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
	APÊNDICE A – Cálculo dos fatores de emissão e energia dos insumos energéticos	156
	APÊNDICE B – Cálculo dos fatores de emissão e energia dos insumos materiais.....	163

1 INTRODUÇÃO

A construção civil gera impactos significativos no meio ambiente. Os processos de extração de matérias-primas, transporte, fabricação de produtos, e a construção dos edifícios, geram resíduos, emissão de poluentes para o ar e a água, e alterações no *habitat* comprometendo a biodiversidade. Além disso, fatores como a escolha do local de implantação e dos materiais de construção utilizados influenciam no desempenho do edifício, que pode necessitar de sistemas de aquecimento ou resfriamento, aumentando o consumo de energia durante a fase de operação. As fases de manutenção e reforma também geram resíduos e impactos constantemente.

Nos últimos anos a preocupação pela busca por desenvolver edifícios que causem menos impacto ambiental vem crescendo. Uma das soluções em consideração é a escolha de materiais de construção mais sustentáveis, que passam por pouco ou nenhum processamento, reduzindo, assim, a energia incorporada e as emissões que poderiam existir nesta etapa, porém, os benefícios gerados por essas escolhas podem não ser tão significativos quando analisados ao longo do ciclo de vida. Por exemplo, a utilização de um material “verde” importado pode impactar muito mais do que uma tecnologia convencional disponível localmente. Para essa análise, vem ganhando cada vez mais destaque a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é um método de gestão ambiental que possibilita uma visão sistêmica do ciclo de vida de um sistema ou produto, de forma a rastrear e quantificar os fluxos de entrada e saída desse sistema e compreender os impactos gerados por ele (ABNT, 2001). Apesar de internacionalmente reconhecido e difundido, o método ainda apresenta diversas limitações, entre elas a sua própria complexidade. Por exigir a medição de um grande número de variáveis e de dados, muitas vezes inexistentes ou de difícil acesso, o método ainda é pouco praticado e estimulado; e, além disso, ele influencia muito pouco nas pontuações de certificações ambientais, o que acaba intensificando a falta de interesse pela utilização do método por parte de construtores (BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

Com o objetivo de contornar tal complexidade, nos últimos anos têm sido desenvolvidas variações simplificadas do método, com escopos reduzidos e foco em impactos mais relevantes (LOQUES, 2013; CBCS, 2012). Porém, tal solução vem levantando alguns questionamentos, tais como: até que ponto é possível simplificar uma ACV e qual a influência dessas simplificações no resultado final? A exclusão de algumas etapas não acarretaria numa avaliação equivocada dos impactos ambientais?

Trabalhos anteriores compararam as diferenças entre ACVs completas e simplificadas, encontrando resultados variados. No estudo de Vaculikova *et al.* (2014) foi feita a comparação entre os resultados do método simplificado e detalhado (ou completo), para o processo de reforma de um edifício, e os autores concluíram que a exclusão de algumas etapas do ciclo de vida influenciou significativamente na avaliação do impacto ambiental, além de evidenciar que os valores da ACV completa são obviamente maiores do que na versão simplificada.

Kellenberger e Althaus (2008) avaliaram cinco componentes de um edifício (ex.: paredes de madeira e telhados de concreto) em diferentes níveis de detalhamento (desde um ACV mais abrangente que considere todos os materiais e processos construtivos, até a sua versão simplificada, considerando apenas os materiais principais de cada componente), e concluíram que as etapas de transporte e os materiais auxiliares (articulações, conectores, formas, adesivos e tintas) exercem influência significativa nos resultados, enquanto o processo de construção e os resíduos de corte relacionados a ela podem ser desconsiderados; e que as diferenças entre os resultados da ACV mais abrangente para a mais simplificada variou entre 15% e 30%.

Por outro lado, Oregi *et al.* (2015) analisaram a reforma de um edifício pelo método simplificado e completo e concluíram que para o indicador de consumo de energia primária não-renovável a diferença foi de apenas 0,39%, demonstrando que a ACV simplificada teve resultados muito próximos a sua versão completa e que, portanto, a sua utilização é confiável em alguns casos específicos.

Apesar dessas controvérsias quanto à precisão das avaliações simplificadas, é inegável a importância que elas têm para o processo de esclarecimento das escolhas de sistemas construtivos. Dessa forma, a simplificação da ACV vem ganhando cada vez mais espaço e usuários, e vários métodos e ferramentas têm sido desenvolvidas, principalmente no setor da construção civil.

Tomando-se como pressuposto que cada método possui um enfoque e considerações diferenciadas com relação aos limites do sistema, à definição de entradas e saídas, ao método de avaliação de impacto utilizado, e às etapas do sistema a serem excluídas, mesmo tendo um mesmo objetivo é possível questionar qual método seria o mais apropriado para cada contexto.

Com base nisso e na quantidade de métodos simplificados existentes para a avaliação de edificações, foram elaborados os seguintes questionamentos:

- Qual a interferência dessas diferenças nos resultados de um estudo de ACV simplificado?
- As diferenças entre os resultados são significativas?

Este trabalho focaliza tais questionamentos comparando métodos de ACV simplificado voltados para a construção civil, aplicando-os a sistemas construtivos de paredes, em razão da importância desse subsistema no edifício devido, principalmente, à sua extensão e às suas funções de vedação e/ou estrutural.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Comparar o desempenho ambiental de sistemas construtivos de paredes de taipa, blocos cerâmicos furados, blocos de concreto e de concreto moldado *in loco*, sob a avaliação de diferentes métodos simplificados de ACV.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a abrangência de métodos simplificados de ACV;
- Gerar dados para contribuir para a ampliação de banco de dados dos inventários nacionais;
- Caracterizar as diferenças dos resultados das ACVs simplificadas para identificar lacunas e divergências entre os métodos, e a influência destes nos resultados; e
- Classificar os sistemas construtivos de paredes quanto aos seus impactos ambientais.

Para definir o método a ser utilizado para chegar aos objetivos descritos é apresentada no próximo Capítulo, uma revisão bibliográfica sobre o tema ACV, que dá embasamento aos procedimentos adotados nesta pesquisa.

2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Neste Capítulo é feita uma contextualização sobre a Avaliação do Ciclo de Vida, apresentando as dificuldades e os limites encontrados para a difusão do método no setor da construção civil e sobre a ACV simplificada, uma das alternativas existentes atualmente para contornar as dificuldades encontradas no método. Também serão apresentados trabalhos anteriores que fizeram a comparação entre os resultados de métodos de ACVs diferentes, e sobre ACV aplicada para comparação de paredes, que se assemelham ao proposto nesta pesquisa.

Esta etapa de revisão bibliográfica é importante para melhor compreensão do tema e da sua evolução no campo das pesquisas científicas, e para identificação primária de possíveis entraves e soluções a serem encontrados ao longo do estudo. Também é importante para expor a relevância do método de ACV, que apesar de ter sido criado há quatro décadas (e normalizado há duas décadas), ainda é atual e vem ganhando cada vez mais espaço, porém, ainda possui muitas limitações a serem enfrentadas.

2.1 Definição de ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental, que consiste no estudo e avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais ao longo da vida de um produto ou sistema, do berço ao túmulo, ou seja, desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, uso e disposição final. Essa avaliação é feita por meio da compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema ou produto, da associação delas a impactos ambientais potenciais, e da interpretação dos resultados em relação aos objetivos do estudo (ABNT, 2001).

A ACV serve como ferramenta de auxílio na tomada de decisões de produção de um determinado produto ou sistema, considerando os impactos causados ao ambiente durante a fabricação do produto, evidenciando as etapas mais críticas, que exercem maiores pressões ambientais ou que consomem grandes quantidades de recursos naturais, possibilitando a comparação de dois produtos ou processos para a escolha da melhor opção (ABNT, 2001).

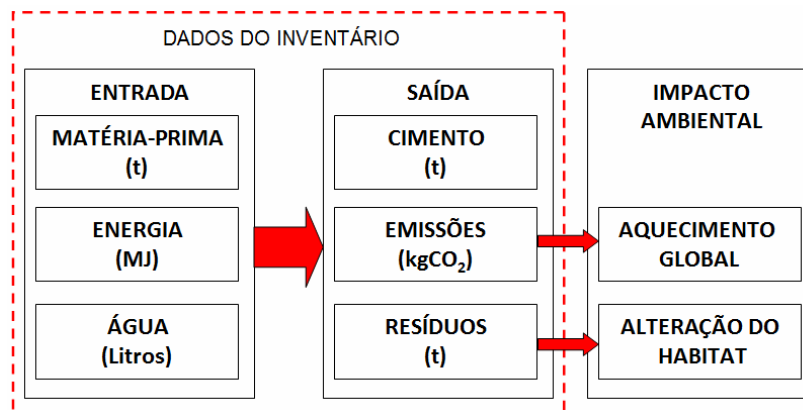
De acordo com a NBR ISO 14040:2001, a ACV deve incluir as seguintes fases:

1. **Definição de objetivo e escopo:** envolve a definição das finalidades e propósito do estudo; do público-alvo; das funções do sistema de produto estudado; da unidade funcional; das fronteiras do sistema de produto; dos procedimentos de alocação e

cálculo; dos impactos e metodologias considerados; das suposições e limitações; dos requisitos da qualidade dos dados; do tipo de análise de dados; e do formato do relatório final.

2. **Análise de inventário:** envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes ao sistema de produto, considerando materiais, energia e emissões para o ar, água e solo;
3. **Avaliação de impacto:** avalia os impactos potenciais usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida, e estima os recursos usados no sistema considerado (Figura 1). Esta etapa pode incluir três elementos:
 - ✓ correlação de dados de inventário por categorias de impacto (classificação);
 - ✓ modelagem dos dados de inventário dentro das categorias de impacto (caracterização); e
 - ✓ possível agregação dos resultados em casos muito específicos e somente quando significativos (ponderação).

Figura 1. Esquema da fase de avaliação de impacto da ACV



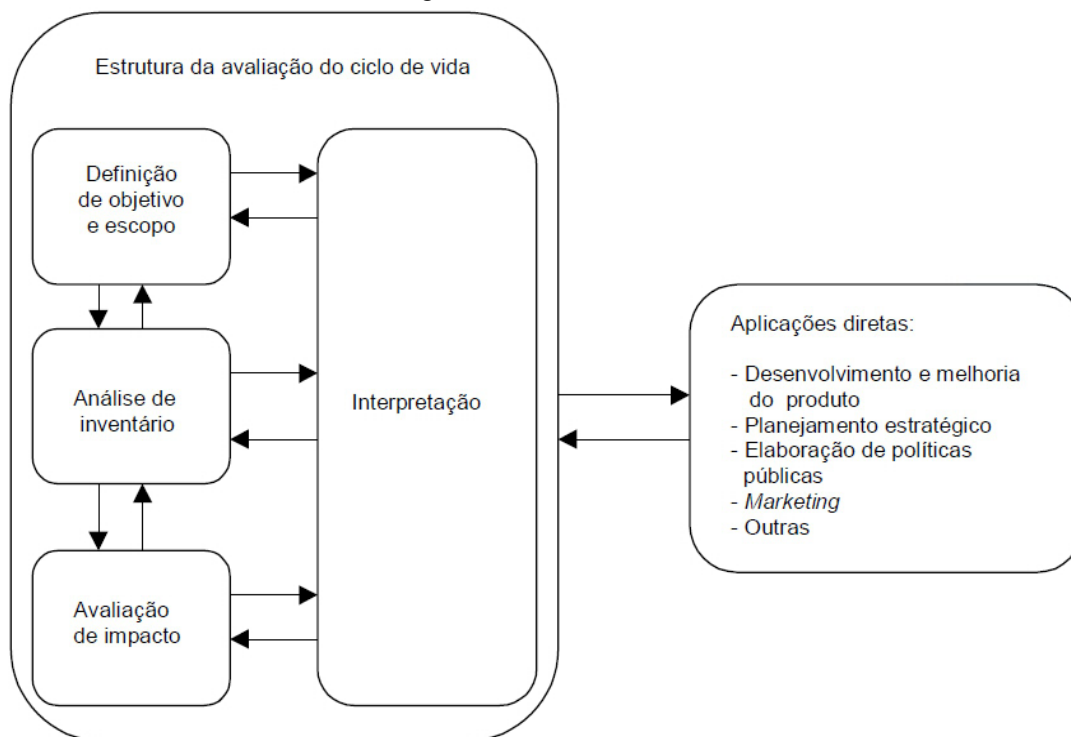
Fonte: Autora (2017).

A norma ainda cita que a estrutura metodológica e científica para avaliação de impacto ainda está sendo desenvolvida, não havendo uma referência única. Existem diversos métodos para a etapa de avaliação de impactos, alguns desses métodos serão discutidos no item 2.1.1.

4. **Interpretação:** é a última etapa e consiste em identificar problemas significativos, avaliar resultados para chegar a conclusões e formular recomendações, como mudanças no sistema de produção, troca de materiais ou diminuição do consumo de matérias-primas, por exemplo.

A Figura 2 apresenta de forma esquemática a estrutura da ACV.

Figura 2. Fases de uma ACV



Fonte: ABNT (2001)

Como a ACV é um método bastante complexo que exige uma grande quantidade de dados, para facilitar o processo, há uma diversidade de ferramentas de ACV para aplicação geral (Tabela 1). As ferramentas e bancos de dados variam de acordo com usuários, aplicação, localização geográfica e escopo (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009).

Tabela 1. Ferramentas de ACV para uso geral

FERRAMENTA	SITE
Boustead	www.boustead-consulting.co.uk
Eco-it	www.pre.nl
Ecopro	www.sinum.com
EcSCAN	www.ind.tno.nl
Euklid	www.ivv.fhg.de
KCL Eco	www.kcl.fi/eco
Gabi	www.gabi-software.com
LCAit	www.ekologik.cit.chalmers.se
Miet	www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software
Pems	www.piranet.com/pack/lca_software.htm
Simapro	www.pre.nl
Team	www.ecobilan.com
Wisard	www.pwcglobal.com
Umberto	www.umberto.de

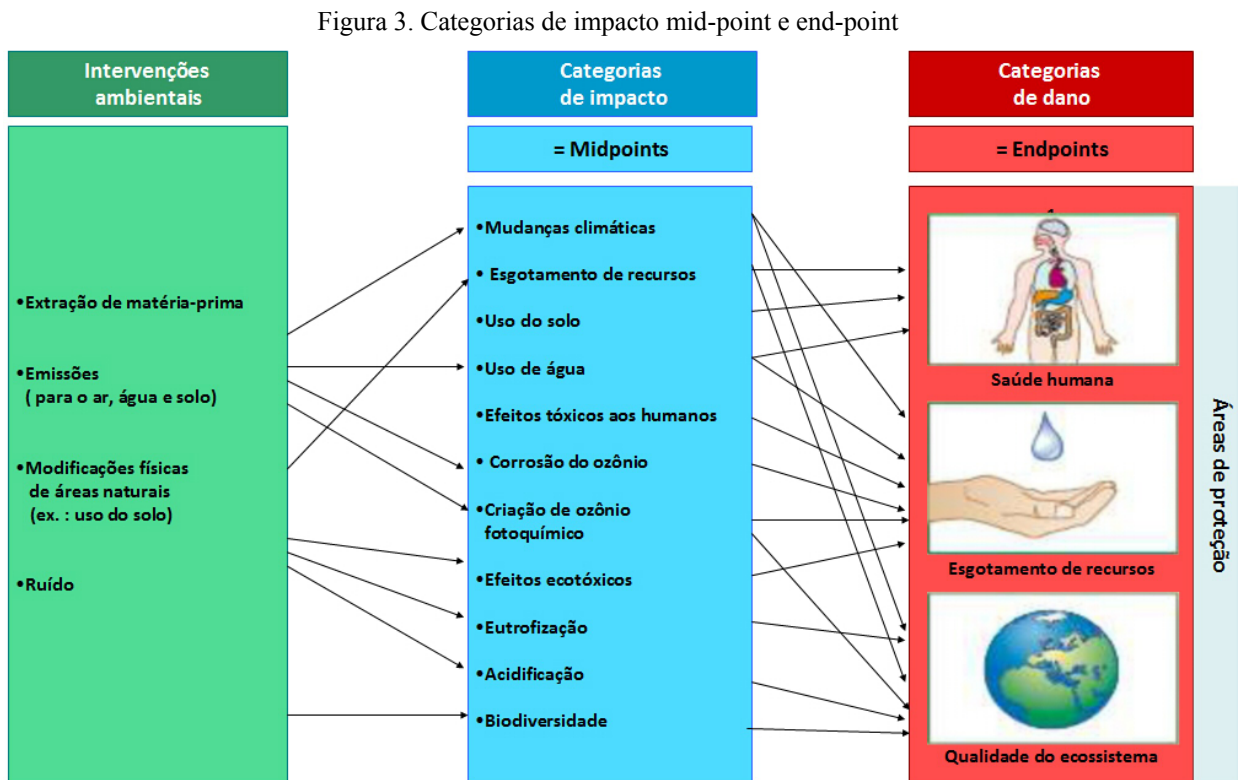
Fonte: BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI (2009).

2.1.1 Métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A etapa de Avaliação de Impacto consiste na quantificação da contribuição dos fluxos de um determinado produto, para uma série de impactos ambientais. De forma geral, existem duas abordagens para avaliação de impacto seguidos pelos praticantes de ACV para a escolha dos indicadores da avaliação de impactos (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009):

- ✓ **Orientado ao problema (*mid-points*):** nessa abordagem todas as substâncias do inventário são agregadas a uma categoria de impacto, sem representar as consequências finais desses impactos. Envolve os impactos ambientais associados às alterações climáticas, como a acidificação, eutrofização, o potencial de criação de ozônio fotoquímico e toxicidade humana.
- ✓ **Orientado ao dano (*end-points*):** envolve a análise das consequências dos impactos ambientais nos humanos, meio ambiente e recursos naturais.
- ✓ **Combinado:** une aspectos dos dois níveis apresentados anteriormente.

A Figura 3 apresenta algumas categorias de impacto (*mid-point*) e as suas relações com os danos finais (*end-points*).



Fonte: Traduzido de RODRIGUES (2016)

Além dessas, outra abordagem utilizada consiste no uso direto dos dados obtidos nos inventários (fluxos de entrada e saída) sem relacioná-los a qualquer categoria de impacto. Dessa forma, os resultados representariam apenas a quantidade de uma determinada substância por unidade, por exemplo, massa (kg) de CO₂ gerados na produção de um quilo de cimento. Porém, alguns especialistas acreditam que essa abordagem pode simplificar demais os impactos, chegando a resultados ainda mais incertos, pois ela adota uma mesma importância para todos os fluxos, o que é irreal, já que as contribuições de cada substância são diferentes para cada categoria de impacto (NIST, 2007; ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009).

A Tabela 2 apresenta alguns dos principais métodos de avaliação de impactos, o país de origem e o nível de avaliação de impacto.

Tabela 2. Métodos de avaliação de impactos para ACV

MÉTODO	ORIGEM	NÍVEL DE AVALIAÇÃO
CML2002	CML – Holanda	Midpoint
Eco-indicator 99	Pré – Holanda	Endpoint
Ecological Scarcity	E2 + ESU-services – Suíça	Combinado
EDIP97 – EDIP2003	DTU – Dinamarca	Midpoint
EPS 2000	IVL – Suécia	Endpoint
Impact 2002+	EPFL – Suíça	Combinado
LIME	AIST – Japão	Combinado
LUCAS	CIRAIG – Canadá	Midpoint
MEEuP	VhK – Holanda	Midpoint
ReCiPe	RUN + PRé + CML + RIVM – Holanda	Combinado
TRACI	US EPA – Estados Unidos	Midpoint
USEtox	Programa Iniciativa do Ciclo de Vida da UNEP – SETAC	Midpoint
IMPACT World+	CIRAIG, da Politécnica de Montreal (Canadá), Universidade de Michigan (Estados Unidos), Universidade de Ann Arbor (Estados Unidos), Quantis (Suíça), Universidade Técnica da Dinamarca – DTU (Dinamarca), Escola Politécnica de Lausanne – EPFL (Suíça) e Cycleco (França)	Combinado

Fonte: MENDES (2013).

Outros métodos de avaliação ainda consideram impactos sociais e econômicos, buscando avaliar os tripés da sustentabilidade (ambiental, social, econômico). Algumas dessas metodologias são a ACV econômica, a ACV social e a ACV pluridimensional.

A Avaliação Econômica do Ciclo de vida (AECV) é utilizada como complementação à ACV, e como forma de auxílio à tomada de decisão, avaliando custos na cadeia produtiva dos produtos. A metodologia ainda não possui uma normalização, existindo diversos métodos na literatura (BARRETO, 2014).

Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACVsocial) é uma técnica utilizada para avaliar os impactos sociais, positivos ou negativos, causados ao longo do ciclo de vida de um produto (UNEP, 2009). Ela se alinha às etapas da ACV convencional, e às Normas ISO 14040, apesar de não estar no mesmo nível de desenvolvimento que a ACV ambiental pode fornecer informações valiosas. Uma iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*, UNEP), em conjunto com a Sociedade Química de Toxicologia (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, SETAC), buscou desenvolver uma metodologia para a aplicação da ACV social, definindo uma lista com as principais categorias de indicadores a serem considerados. Esses indicadores são divididos em categorias de partes interessadas, tais como: trabalhador/empregados; comunidade local; sociedade; consumidores; e atores da cadeia produtiva. Alguns dos indicadores considerados são o trabalho infantil; salário justo; privacidade do consumidor; transparência, entre outros. Alguns trabalhos que abordam a ACV Social no Brasil são: Cultri, Saavedra, Ometto (2010); Fontinele (2010) e Ugaya (2001).

A Avaliação Pluridimensional do Ciclo de Vida (APCV) é um método proposto no trabalho de Egas (2008), em que o autor analisou os pontos de maior e menor sustentabilidade do ciclo de vida do sistema estrutural de cobertura em vigas laminadas de madeira de Pinus, nas dimensões ambiental, social, econômica, política e cultural. Para isso, o autor utilizou o método da ACV associado aos Indicadores Ethos, que já são empregados por empresas brasileiras e levantam questões sociais e econômicas dentro dos padrões exigidos pela Norma ABNT 16001 (2004), que regulamenta os requisitos mínimos e os sistemas de gestão para que se atinja um maior grau de responsabilidade social.

Apesar da existência de métodos de avaliação de impactos que consideram aspectos econômicos e sociais, a maioria dos métodos mais conhecidos de avaliação de impactos focaliza-se exclusivamente na dimensão ambiental, sendo poucos os que avançam para as outras dimensões. Uma das razões é o fato de que esses métodos são originários de países desenvolvidos, onde o desenvolvimento econômico foi encorajado e acelerado, e a sociedade encontrou um certo nível de qualidade de vida e de distribuição de riqueza, diminuindo os extremos de desigualdade social. O impacto desse desenvolvimento acelerado foi a destruição mais acentuada de elementos naturais em seus territórios e em escala global, daí essa maior preocupação com a dimensão ambiental dos impactos, já que as dimensões econômicas e sociais estariam melhor resolvidas, o que não ocorre nos países em desenvolvimento, de forma geral (SILVA, V., 2003).

Dessa forma, é recomendável que os estudos de ACV em países em desenvolvimento sempre incluam aspectos econômicos e sociais além dos ambientais. Apesar disso, as

metodologias para essas avaliações ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento; e são ainda mais específicas para cada região, o que diminui ainda mais a disponibilidade de dados. Além disso, muitas são baseadas em aspectos qualitativos, sendo difícil a comparação entre os métodos, por exemplo. Neste trabalho, será considerada apenas a dimensão ambiental dos impactos, já que estes já possuem um certo consenso universal. Observa-se que assim como a maioria dos métodos de ACV, dos três métodos estudados neste trabalho nenhum aborda aspectos sociais, e apenas um aborda aspectos econômicos.

2.2 Breve histórico da ACV

Os primeiros estudos relacionados à ACV iniciaram em 1970, depois da primeira crise do petróleo, quando o mundo se conscientizou da necessidade da utilização racional de recursos. Esses estudos tinham enfoque em buscar meios de reduzir o consumo de energia ao longo dos processos produtivos e eram conhecidos como *Resource Environmental Profile Analysis* (REPA). Com o passar dos anos, os estudos evoluíram de análises de energia para análises mais completas envolvendo aspectos como consumo de matérias-primas, emissão de gases e geração de resíduos ao longo do ciclo de vida do produto (BARBOSA *et al.*, 2008; GUINÉE *et al.*, 2011).

Em 1990 iniciou-se a busca pela harmonização e normatização da metodologia do ACV, resultando em duas normas internacionais ISO 14040 (2006E): '*Environmental management – Life cycle assessment - Principles and framework*' e ISO 14044 (2006E): '*Environmental management – Life cycle assessment - Requirements and guidelines*'. A partir daí, a ACV passou a fazer parte de políticas e legislações ambientais em diversos países. O interesse na ACV aumentou a partir da primeira década do século 21. Em 2002 a UNEP, em união com a SETAC, lançou uma parceria conhecida como *Life Cycle Initiative*, com o objetivo de estimular a utilização do método. Nesse período também começa a aumentar o número de políticas ambientais e de produtos analisados por ACVs, no mundo.

Essa regulamentação das técnicas, porém, revelou algumas lacunas e dificuldades, entre elas a abundância de metodologias diferentes, já que as normas apenas delineiam a sequência do estudo e não determinam uma metodologia específica a ser seguida; a falta de bancos de dados; as diferentes características geográficas e temporais dos estudos; entre outros aspectos, que ainda não são atendidos suficientemente pelo método (GUINÉE *et al.*, 2011).

Essas limitações têm levado, nos últimos anos, ao aumento de pesquisas relacionadas à ACV, com o objetivo de responder questionamentos e resolver problemas, preenchendo as lacunas

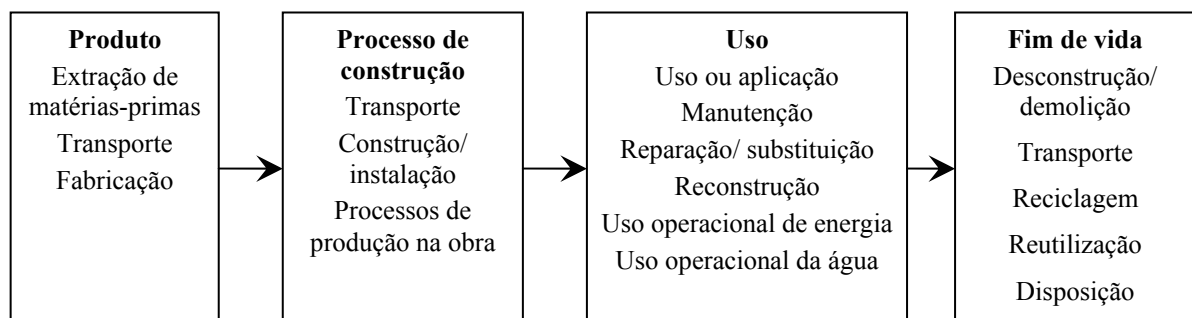
ainda existentes no método. Uma grande variedade de métodos tem sido desenvolvida com enfoques diferenciados, com diferentes escopos e categorias de impactos. Alguns desses métodos são ACV dinâmico (PEHNT, 2006; LEVASSEUR *et al.*, 2010); ACV híbrido (SUH *et al.*, 2004) ACV simplificado (GUINÉE *et al.*, 2001; CBCS, 2014; BRIBIAN;USÓN;SACARPELLINI, 2009); ACV baseado em riscos (ASSIES, 1998; SAOUTER, E.; FEIJTEL,T.C.J., 2000); e ACV regional (YANG,Y; HEIJUNGS,R., 2017; XUE *et al.*, 2012).

No Brasil, a conscientização para a ACV teve início em 2000, quando o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental da Associação Brasileira de Normas Técnicas/CB38 iniciou a tradução da Série NBR ISO 14040, além de apoiar a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), fundada em 2002 (BARBOSA *et al.*, 2008). Além dessas iniciativas, a criação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), em 2010, também contribuiu para o aumento de interesse pela técnica (CBCS, 2014).

2.3 ACV na construção civil

A indústria da construção civil é identificada como a atividade humana que mais contribui para o aumento dos impactos ambientais (IFEN, 2009). Dessa forma, o incentivo ao desenvolvimento de construções mais sustentáveis e que causem menos impactos ao ambiente vem aumentando. Sabe-se que mudanças ao longo das etapas de construção do edifício podem melhorar a sua eficiência, a escolha de materiais mais sustentáveis, por exemplo, tem sido uma alternativa tomada, porém, a escolha de materiais adicionais para melhorar a performance dos edifícios pode aumentar a energia incorporada, devido à produção e ao transporte desses materiais, principalmente quando há importação (BUENO; ROSSIGNOLO; OMETTO, 2013). É necessário, portanto, compreender os impactos ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, evitando escolhas precipitadas. A Figura 4 apresenta as fases do ciclo de vida dos edifícios.

Figura 4. Fases do ciclo de vida dos edifícios



Fonte: OREGI et al. (2015).

A ACV, que vem sendo aplicada no setor da construção civil desde 1990, tem-se mostrado como método valioso no rastreamento e análise de impactos ao longo do ciclo de vida de edifícios, o que vem levando ao desenvolvimento de diversas ferramentas de ACV voltadas à construção, e ao aumento de iniciativas para estimular o seu uso (BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009; BUENO; ROSSIGNOLO; OMETTO, 2013; LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER, 2010; MALQVIST *et al.*, 2010; ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009).

Ortiz, Castells e Sonnemann (2009) classificam as ferramentas utilizadas para ACV de edifícios em três níveis:

- ✓ Nível 3: ferramentas de avaliação completa do edifício, quadro ou sistema, e consiste em metodologias como o *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM -UK), *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED- USA), *Scottish Ecological Design Association* (SEDA -Aus);
- ✓ Nível 2: ferramentas de auxílio a decisões de projeto de edifícios, como o *Life Cycle Analysis In Sustainable Architecture* (LISA-Aus), *Eco-Quantum* (NL), *Invest* (UK), *Athena* (Canadá), *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES- EUA); e
- ✓ Nível 1: ferramentas de comparação de produtos, e inclui *Ganzheitliche Bilanz* (Gabi - GER), *SimaPro* (NL), *TEAM* (Fra) *LCAiT* (SE).

São diversas as ferramentas de ACV voltadas especificamente para edifícios, sendo que algumas são apresentadas na Tabela 3. Apesar de facilitarem o desenvolvimento do estudo, essas ferramentas não possuem uniformidade, apresentando diferenças quanto ao inventário (diferente número de fluxos considerados), aos limites do sistema (por exemplo, incluindo ou não o fim da vida), ao modelo de avaliação (diferentes tipos e número de indicadores de impacto) e na descrição geométrica do edifício (partes e elementos do edifício a serem considerados). Além disso, muitas dessas ferramentas não possuem descrições transparentes de seus métodos e alguns caminhos adotados para a simplificação não são documentados (LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER, 2010).

Tabela 3. Ferramentas de ACV específicas para a construção civil

FERRAMENTA	SITE
ECO-QUANTUM	www.ecoquantum.nl
LEGEP	www.legep.de
EQUER	www.izuba.fr
ATHENA	www.athenaSMI.ca
OGIP	www.ogip.ch/
ECO-SOFT	www.ibo.at/de/ecosoft.htm
ENVEST 2.0	envestv2.bre.co.uk
BECOST	www.vtt.fi/rte/esitteet/ymparisto/lcahouse.html
BEES	www.bfrl.nist.gov/oa/software/bees.html
GREENCALC	www.greencalc.com
ECOEFFECT	www.ecoeffect.se
TEAM Batiment	ecobilan.pwc.fr/
LISA	www.lisa.au.com/

Fonte: LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER (2010).

Segundo Lasvaux, Chevalier, Peuportier (2010), as ferramentas analisadas em seu estudo possuíam uma variação na quantidade de indicadores ambientais considerados, que variavam entre 8 e 16, sendo que os indicadores mais presentes foram os de Energia Primária e de Aquecimento Global, e o menos considerado foi o de Saúde Humana. Alguns métodos de ACV consideram ainda a ponderação desses indicadores, resultando, ao final, em uma pontuação única, enquanto outros métodos sugerem apenas considerar indicadores mais compreensíveis para arquitetos ou construtores, como energia incorporada e emissão de CO₂. A elevada quantidade de indicadores, e os diferentes indicadores considerados em cada método, são vistos como uma inconveniência para a tomada de decisões, levantando diversas dúvidas quanto à abrangência e confiabilidade dos resultados.

Apesar de ser um método indicado para a avaliação ambiental de edifícios, a utilização da ACV no setor da construção ainda apresenta muitas barreiras, abordadas por diversos autores. A Tabela 4 apresenta as principais barreiras e os autores respectivos.

Tabela 4. Barreiras para a utilização da ACV na construção civil

(continua)

BARREIRAS
Falta de clareza na definição dos limites do sistema dos edifícios: por serem geralmente únicos é difícil comparar dois edifícios, e mesmo quando dois edifícios são iguais eles podem evoluir de formas diferentes ao longo dos anos. Outro fator que dificulta a definição desses limites se deve ao fato de possuírem uma variedade de componentes; além disso, os edifícios não são produtos isolados, eles fazem parte de um ambiente, onde estão construídos, exercendo impactos locais imensuráveis e imprevisíveis. Outro fator está relacionado à sua vida útil longa de cinquenta a cem anos, ao logo dos quais os edifícios passam por diversas reformas e mudanças no uso, o que acaba gerando a necessidade de criação de cenários hipotéticos, já que nem sempre é possível rastrear todas essas variáveis. [2] [5] [10]
Método complexo, exige muitos dados, sendo poucos disponíveis e havendo muitas incertezas quanto à sua confiabilidade [1] [2] [3] [4] [7]
Falta de banco de dados, principalmente em países em desenvolvimento [9] [10] [11]

Tabela 4. Barreiras para a utilização da ACV na construção civil

(conclusão)

BARREIRAS
Exigência de tempo e esforço para coleta de dados, equipe especializada, custo elevado [2] [3] [7]
Necessidade de modelos simplificados ou adaptados [2] [4] [6] [7]
Conhecimento limitado quanto aos impactos ambientais e como calculá-los [2] [7]
Dúvidas quanto à precisão e arbitrariedade dos resultados, e em como analisá-los e interpretá-los [2] [7]
Falta de consenso na metodologia da ACV (ex.: impactos considerados, procedimentos quanto à repartição dos fluxos de entrada e saída ao longo do sistema) [1] [4]
Muitos métodos apresentando diferentes resultados que mudam dependendo dos limites do sistema, qualidade, quantidades e experiências consideradas [1] [2] [7] [10]
Necessidade de possibilitar a reprodutibilidade, e uniformidade de resultados dos estudos de ACV de uma ferramenta para a outra [4]
A maioria dos estudos de ACV não analisa o edifício completo; o ciclo de vida completo; e/ou não avalia todas as categorias de impacto [8] [9]
A utilização da maioria das ferramentas de ACV requer um conhecimento prévio [7]
Falta de interfaces em programas utilizados no setor da construção (CAD) [2]
Falta de colaboração entre fabricantes de <i>softwares</i> de ACV e clientes potenciais [2]
Pouca conexão com certificados de edifícios [2]
Falta de requisitos legais e poucos incentivos [2]
Baixa demanda por estudos de ACV [2]
1 BONNET et al., 2014 2 BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009 3 BUENO; ROSSIGNOLO; OMETTO, 2013; 4 CHEVALIER et al., 2012 5 ELARDSON; BORG, 2003 6 LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER, 2010 7 MALQVIST et al., 2010; 8 OREGI, 2015 9 ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009 10 REITER, 2010 11 SURAHMAN; KUBOTA, 2012;

Fonte: Autora (2017).

Além da identificação dos pontos-chaves de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, outros benefícios do uso da ACV em edifícios são o auxílio ao *marketing*; a elaboração de selos ambientais para edifícios; a definição de metas ambientais para edifícios e setor da construção em geral; a criação de incentivos e subsídios para a redução de impactos ambientais e o desenvolvimento de construções mais sustentáveis (BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

Não há dúvidas de que a ACV é importante para a compreensão dos impactos relativos à construção, mas a maioria dos estudos ainda não analisa o ciclo de vida completo e é voltada apenas para energia e emissões. Além disso, a maioria dos estudos são feitos na Europa e nos Estados Unidos, sendo poucos os realizados em países emergentes e em desenvolvimento, havendo escassez de dados nesses locais. É necessário, portanto, o estímulo de estudos de ACV nesses países para possibilitar um desenvolvimento sustentável (REITER, 2010; ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009).

2.4 ACV simplificado

Um estudo de ACV completo é muito trabalhoso e demanda muito tempo, o que tem limitado o seu uso (VACULIKOVA et al., 2014). Quando se considera a sua utilização em um edifício o estudo fica ainda mais limitado, já que os edifícios são elementos extremamente complexos, possuindo grandes quantidades de produtos, sistemas, estágios, e processos, tornando uma ACV completa praticamente impossível. Como solução os analistas têm utilizado versões simplificadas de ACV para facilitar o estudo (OREGI *et al.*, 2015; BRIBIAN; USÓN; SACARPELLINI, 2009).

A ACV simplificada é uma variação do método detalhado, conduzida de acordo com as orientações, mas não em total conformidade com as Normas da série ISO 14040, ela pode ser qualitativa, quantitativa ou semi-quantitativa (GUINÉE *et al.*, 2001). Em outras palavras, a ACV simplificada se diferencia do modelo completo pela redução do escopo e dos limites do sistema, desconsiderando processos pouco importantes, e focando em fluxos e impactos mais pertinentes, buscando manter resultados de qualidade similar à completa, mas com menos esforço, menos tempo de trabalho e menor custo (CBCS, 2014; BRIBIAN; USÓN; SACARPELLINI, 2009).

Porém, é observada uma variação na importância que cada ferramenta atribui à determinada fase do ciclo de vida e às substâncias e impactos considerados. Tais diferenças têm sido foco de alguns estudos, que serão apresentados no item 2.5, que comparam os resultados apresentados por diferentes ferramentas, alguns deles, bastante divergentes.

Acredita-se que essa dificuldade deve-se ao fato de que não seria possível identificar qual é o processo mais impactante de um sistema, sem conhecer o sistema completo e todos os seus impactos. Dessa forma, o que ocorre atualmente é que os impactos considerados teoricamente mais importantes são baseados em resultados genéricos, sendo que na realidade seria necessário conhecer todas as especificidades de cada elemento envolvido no sistema de produto e só então identificar os pontos-chave que merecem destaque.

Então o correto seria fazer uma ACV completa antes de definir os pontos que podem ser excluídos, mas conforme dito anteriormente, o desenvolvimento de um estudo de ACV realmente completo ainda está muito distante, dessa forma, ainda não se pode garantir que, por exemplo, a fase de produção de um produto será sempre a mais impactante em todos os casos, devendo receber mais atenção do que as demais, ou que registrar apenas os impactos relativos ao CO₂ já permitem avaliar o desempenho ambiental de determinado produto ou sistema.

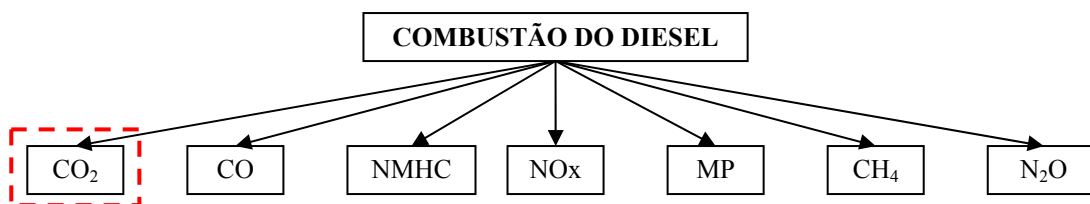
Apesar dessas contradições, defende-se que desenvolvendo estudos simplificados, mesmo que baseados em pressupostos genéricos, será possível que no futuro, à medida que seja adquirida maior experiência e aumentando-se os bancos de dados, será possível alcançar o ACV completo e assim indentificar de forma mais detalhada os impactos importantes.

Muitas ferramentas de ACV, voltadas para edifícios, adotam a metodologia simplificada, apesar de nem todas apresentarem de forma detalhada os pontos de simplificação, o que aliás é uma das dificuldades encontradas nas ferramentas disponíveis atualmente: a falta de transparência (LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER, 2010). Cada ferramenta dessas apresenta um tipo de simplificação, não havendo uma conformidade entre elas, o que pode gerar resultados diferentes. As maiores diferenças são relativas aos limites do sistema, por exemplo, alguns métodos desconsideram o transporte de materiais, principalmente quando as distâncias são curtas e os materiais leves; ou os materiais auxiliares, como conectores, articulações e tintas; e os resíduos de corte, da fase de produção dos materiais ou da fase de construção, também são muitas vezes desconsiderados (KELLENBERGER; ALTHAUS, 2009). Além disso, a quantidade de categorias de impacto consideradas varia muito, o que pode gerar resultados divergentes (LASVAUX; CHEVALIER; PEUPORTIER, 2010).

Segundo Lasvaux, Chevalier e Peupartier (2010) podem ser identificadas quatro formas de simplificação da ACV:

1. **Simplificação dos fluxos de entradas e saídas:** definindo-se o número de substâncias a serem consideradas na elaboração do inventário do sistema. Por exemplo, avaliando-se apenas as emissões de CO₂ da combustão de diesel (Figura 5).

Figura 5. Simplificação dos fluxos de saída da combustão do diesel



Fonte: Autora (2017).

2. **Simplificação do modelo de avaliação:** mantendo apenas os indicadores de impactos ambientais considerados mais relevantes. Por exemplo, entre os indicadores ambientais existentes, a avaliação considera apenas o potencial de aquecimento global (Figura 6).

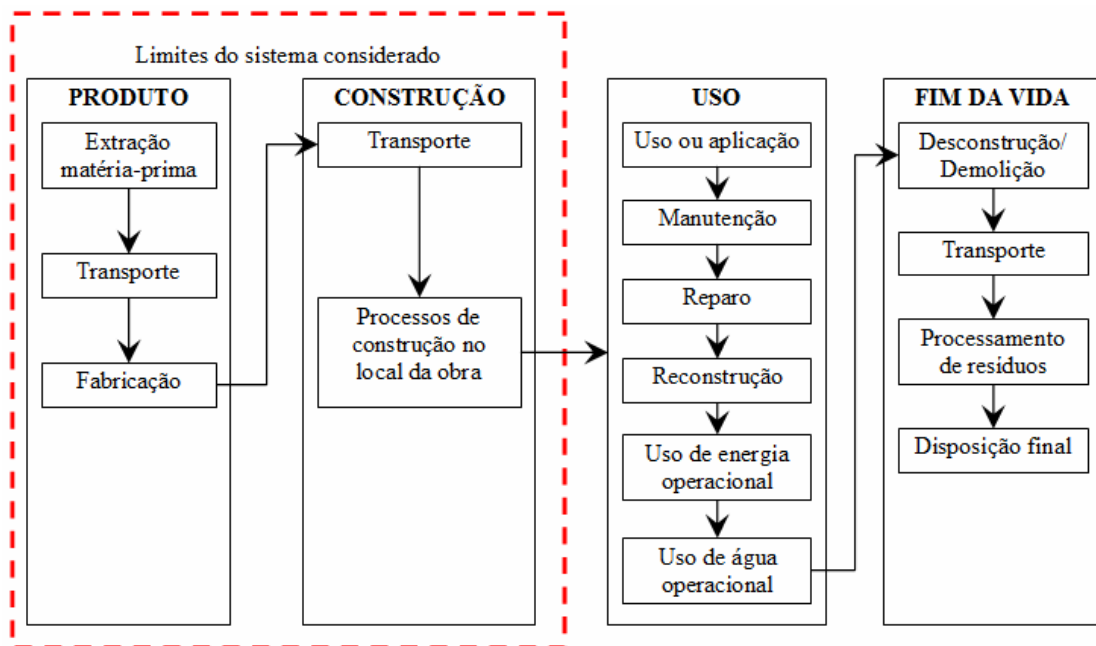
Figura 6. Simplificação dos indicadores de impacto ambiental

Potencial de aquecimento global	Qualidade do ar interno	Saúde humana
Potencial de acidificação	Alteração do habitat	Potencial de formação de smog
Potencial de eutrofização	Consumo de água	Potencial de depleção da camada de ozônio
Depleção de combustível fóssil	Poluição atmosférica	Toxicidade ecológica

Fonte: Autora (2017).

3. **Simplificação do modelo geométrico do edifício:** que consiste no rastreamento de apenas uma parte de seus componentes. Por exemplo, ao invés de considerar o edifício completo para o estudo, considera-se apenas as paredes, que possuem maior volume e que representariam a maior parte dos impactos.
4. **Simplificação dos limites do sistema:** mantendo apenas as fases importantes como, por exemplo, a produção e uso dos materiais, desconsiderando o resto, o que acaba por se desvirtuar do conceito da ACV. Pode-se analisar apenas as etapas de extração, produção e construção do edifício, sem considerar o uso e fim de vida (Figura 7).

Figura 7. Simplificação dos limites do sistema



Fonte: Autora (2017).

Devido às limitações e aos cortes de certas etapas, recomenda-se que os dados obtidos a partir de um ACV simplificada sejam utilizados apenas para decisões internas, auxiliando nas primeiras fases de um projeto de arquitetura, por exemplo, e não sejam utilizadas para comparações públicas. Se for utilizado para esse fim, é necessário que passe por uma revisão independente (EeBGuide, 2012; ENSLIC, 2010).

No Brasil, ainda não há banco de dados de ACV suficientes para grande parte dos setores produtivos. Essa ausência de dados faz com que sejam utilizadas referências internacionais, com outras realidades produtivas, o que pode alterar significativamente os resultados, gerando tomadas de decisão equivocadas.

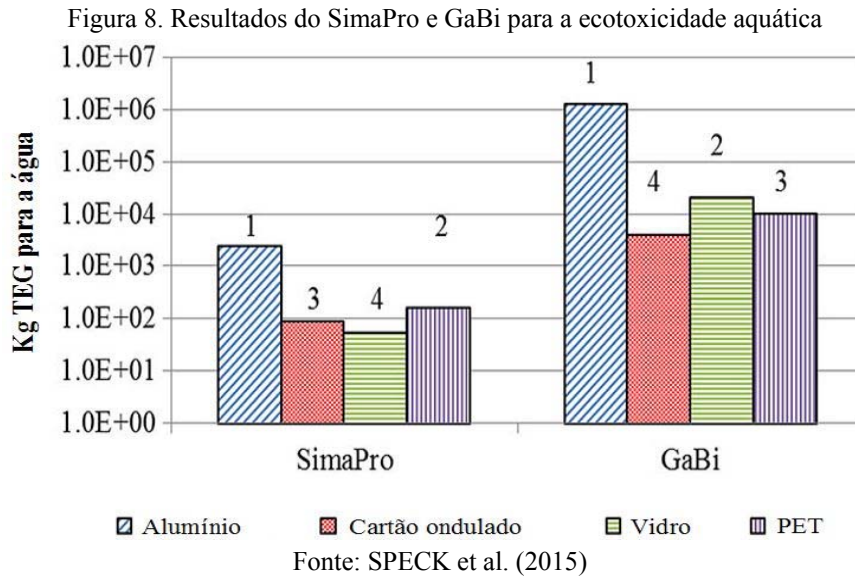
Com o objetivo de facilitar e introduzir o método de ACV nos setores da construção civil, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) teve a iniciativa de desenvolver a ACV Modular (ACV-m), em parceria com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e da Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (Bloco Brasil). O projeto foi implementado inicialmente no setor de blocos de concreto para alvenaria e para pavimento e é considerado um piloto para o estabelecimento de uma plataforma nacional de ACV simplificada proposta pelo CBCS, evitando-se o uso de dados internacionais (CBCS,2014; CHERUBINI; RIBEIRO, 2015).

Dessa forma, o CBCS pretende introduzir a ACV no setor da construção civil de maneira progressiva, sendo que os escopos reduzidos facilitam a medição e verificação dos aspectos mais importantes do setor, reduzindo custos e tempo de execução, para que aos poucos os módulos sejam somados e resultem em ACVs completas.

2.5 Comparação de métodos de ACV

A maioria dos estudos voltados para a comparação do desempenho de materiais por diferentes ferramentas e métodos de ACV é voltada para outros setores da indústria ou para produtos isolados, já que estes possuem uma menor quantidade de elementos envolvidos e maior disponibilidade de dados. No caso dos edifícios a comparação é dificultada, pois eles são compostos por uma variedade de produtos e elementos, sendo a avaliação mais trabalhosa.

Em Speck *et al.* (2015) os autores utilizaram os *softwares* SimaPro e GaBi para comparar quatro materiais (alumínio, papel cartão ondulado, vidro e Politereftalato de Etileno-PET) buscando identificar a existência de diferenças significativas entre as duas ferramentas. Considerando que essas ferramentas utilizam banco de dados e metodologias com diferenças mínimas (Impact 2002, ReCiPe, e TRACI 2) esperava-se que a escolha dos *softwares* não interferisse nos resultados. Porém, algumas diferenças ultrapassaram em 20% os resultados finais, mudando inclusive o *ranking* dos materiais para a categoria de impacto ecotoxicidade aquática (Figura 8). Segundo os autores, tais diferenças se devem principalmente aos fatores de caracterização e às substâncias consideradas por cada *software*, mais do que ao banco de dados em si.



Em outro estudo, realizado por Valkama e Keskinen (2008), foi feita a comparação de três produtos eletrônicos (conversor de frequência, balastros eletrônicos e transmissor de umidade e temperatura) por dois métodos simplificados de ACV, sendo que um utiliza apenas os dados diretos do inventário e o outro considera algumas categorias de impacto, foram utilizados os *softwares* GaBi 4 e *EcoReport-Tool*. Os resultados foram comparados ainda com os resultados de uma ACV mais completa, utilizados como referência. Foram identificadas diferenças que chegaram a até 135% na etapa de manufatura dos produtos, devido à super simplificação de alguns métodos, mas no geral, as diferenças ficaram entre 12% e 22%.

Hochschorner e Finnveden (2003) fizeram a comparação entre dois métodos simplificados de ACV, o *Environmentally Responsible Product Assessment (ERPA) matrix* e o *Materials, Energy, Chemicals and Others (MECO)*, aplicados a carros elétricos e carros a combustível. E os resultados foram comparados com os de uma ACV completa. Os três métodos apresentaram resultados diferentes, e algumas conclusões obtidas pelo método completo não se apresentaram no ERPA, que não considera dados relativos à produção de eletricidade; o mesmo para impactos relativos à geração de resíduos, desconsiderados tanto pelo ERPA quanto pelo MECO. Por outro lado, o método completo utilizado como referência não considera o indicador de uso do solo, considerado pelo MECO, apesar de ser de forma qualitativa. De forma geral os autores concluem que algumas simplificações adotadas pelos métodos permitem maior arbitrariedade nas definições de escopo e seleção de dados, enquanto outros funcionam bem como um pré-estudo ou como complementação a estudos mais completos.

2.6 ACV aplicado a paredes

Uma alternativa para reduzir o impacto ambiental de edifícios é a escolha de materiais de construção ambientalmente amigáveis. Mesmo assim, muitos construtores e arquitetos não se sentem estimulados a usar tais materiais, pois muitos ainda são caros e as ferramentas de avaliação ambiental como *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e *GreenStar* atribuem a essas escolhas pontuações pequenas que correspondem, respectivamente, a 9%, 13% e 16% do total de pontos (DING, 2014). Por outro lado, a seleção de materiais ambientalmente amigáveis, com menor energia incorporada, pode melhorar o resultado da ACV do edifício em até 20%, demonstrando a importância de escolhas bem embasadas (BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

A parede é uma das principais partes de um edifício, exercendo importante papel de vedação e, muitas vezes, estrutural, sendo geralmente o componente mais abundante e pesado. As paredes externas ainda influenciam significativamente no desempenho térmico e ambiental do edifício (SILVESTRE; BRITO; PINHEIRO, 2010). Os impactos relacionados às paredes podem representar até 15% do total de impactos de um edifício ao longo de um ciclo de vida de sessenta anos (BINGEL; BOWN; STURGES, 2006). Esses impactos resultam diretamente dos atributos dos materiais utilizados, da energia incorporada neste material e da forma como esse material foi utilizado. Diversos estudos de ACV em edifícios focam-se em seus elementos de vedação e comparam o desempenho ambiental de tipos diferentes de paredes.

Hanandeh (2015) fez a ACV de seis configurações de paredes externas mais comuns no mercado de residências da Jordânia. Denominou essas paredes como: parede econômica; parede econômica melhorada; parede com isolante; parede com revestimento de calcário e parede externa de luxo. Ao final do estudo o resultado mostrou que a parede econômica, composta por uma camada de 150mm de blocos de concreto e com reboco de cimento de 25mm dos dois lados, possui melhor desempenho ambiental, considerando-se o ciclo de vida. Por sua vez, a parede “luxuosa”, composta por 30 a 50mm de fachada de calcário, apoiada por 100 mm de parede de concreto, seguida de 100mm de bloco de concreto, de 50mm de isolante, mais 100mm de bloco de concreto e, finalmente, um reboco de cimento de 25mm, economiza mais energia durante a fase de uso, mas possui maior impacto ao longo do ciclo de vida devido às fases de extração, produção, construção, demolição e disposição final de todos os materiais adicionais utilizados.

Galán-Marín, Rivera-Gómez e Garcia-Martínez (2015) compararam aspectos ambientais e impactos potenciais da construção, manutenção e disposição de paredes portantes de edifícios de três andares, para determinar a opção de menores impactos considerando características mecânicas e estruturais. Foram analisados aspectos como energia incorporada e potencial de aquecimento global das seguintes tipologias: alvenaria de tijolo cerâmico; alvenaria de bloco de concreto; parede de concreto reforçado e alvenaria de bloco de terra comprimida. Depois da aplicação do ACV concluiu-se que as fases mais significativas são a de produção e construção, em todas as tipologias, sendo a fase de produção dos materiais a mais impactante. Para o indicador de energia incorporada, a fase de produção dos materiais apresentou os maiores valores, de 38% a 51% do total, enquanto a fase de construção das paredes variou de 25,5% a 31,8%. O mesmo ocorreu para o indicador de emissão de CO₂, que na fase de produção foi de 44% a 72% do total, e para construção 16,5% a 32%.

Ioannidou, Zerbi e Habert (2014) avaliaram o desempenho ambiental de paredes de pedra com sistemas de construção diferentes. Foram avaliados três sistemas: fachada de revestimento de pedra com ventilação posterior, com cada painel pendurado independentemente da subestrutura; parede de concreto com ventilação posterior e revestimento de pedra autoportante; e alvenaria de blocos de pedra maciços. As fronteiras dos sistemas consideradas para análise foi *cradle-to-gate*, que aborda desde a extração do material até a fase de construção do edifício. Foi verificado que o processo de corte das pedras é o maior responsável na categoria de impacto de ecotoxicidade da água, e o processo de flamejamento apresenta maior influência na depleção da camada de ozônio, que se deve ao elevado consumo de energia elétrica, e à produção de propano. A etapa de extração na pedreira corresponde, em média, a 27% do total do impacto ambiental, enquanto a fase de produção é de 4%, em média, o que leva a concluir que a fase de tratamento da pedra (corte e flamejamento) representa maior impacto, e não as fases de extração e produção. Outra característica observada é com relação à quantidade de material utilizado; a tipologia de revestimento portante utiliza de 324 a 405kg de pedra por m² de parede, enquanto o sistema de alvenaria de pedra maciças, com tratamento mínimo de corte com máquina hidráulica utiliza, em média, 810kg por m² de parede, mas considerando todo o sistema construído o impacto total dos dois é aproximadamente o mesmo.

As paredes, portanto, merecem atenção especial, devido à sua representatividade no edifício e à sua função de desempenho térmico. Para melhorar o desempenho térmico de um edifício costuma-se adotar duas alternativas: a utilização de isolantes térmicos adicionais ou a utilização de isolantes naturais. A primeira alternativa pode apresentar melhor desempenho

durante a fase de uso, ao longo da vida do edifício, mas também uma grande energia e emissões incorporadas devido a maior quantidade de elementos construtivos envolvidos. A segunda escolha, por outro lado, costuma ter menos impactos incorporados, pois os materiais passam por menor processamento (BRIBIAN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

As construções em terra, por exemplo, são conhecidas pelo seu baixo impacto ambiental e baixa energia incorporada, pois passa por pouco ou nenhum processamento, sendo ambientalmente mais amigáveis que outras construções convencionais (LAWSON, 1996). Porém, as técnicas de construção em terra contemporâneas têm incorporado cada vez mais novas tecnologias e, portanto, consumindo mais energia podendo, ao contrário do que se pensa, não representar um desempenho ambiental significativamente melhor em relação a materiais convencionais (TRELOAR; OWEN; FAY, 2001). Em seu estudo, esses autores, compararam os resultados da ACV de paredes de taipa de pilão com outras técnicas mais convencionais utilizadas na Austrália, e concluíram que a energia incorporada nas paredes de taipa é significativamente menor do que a de tijolos furados, mas é equivalente à parede de revestimento de tijolos maciços.

Sendo assim, uma técnica considerada mais sustentável pode não ser tão eficiente quanto se espera, sendo necessária a avaliação de outros indicadores para a comparação e escolha de materiais. Dessa forma, para este trabalho, as paredes em taipa mecanizada foram consideradas como uma referência de técnica construtiva dita sustentável, cuja performance ambiental será comparada com outras técnicas mais convencionais, e supostamente mais impactantes.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta a metodologia seguida para desenvolver o trabalho, cujo objetivo geral é a comparação de métodos de ACV simplificados. Entretanto, para realizar tal comparação, várias ações antecederam essa etapa, incluindo a própria realização de ACVs. Essa explicação se faz necessária para esclarecer a diferença entre o método da pesquisa e o método de ACV. A seguir, são descritos o raciocínio e todas as considerações feitas para viabilizar a pesquisa.

Para efetivar a comparação das ferramentas, tanto do escopo, quanto dos resultados, optou-se pela realização de ACVs de quatro sistemas construtivos de paredes. Como ponto de partida, um edifício existente teve suas paredes de taipa mecanizada analisadas, e o seu impacto ambiental foi comparado com outras paredes construídas com outros materiais (bloco cerâmico furado, bloco de concreto e concreto moldado *in loco*), tendo como base a geometria do mesmo

edifício. Devido a falta de dados relativos ao uso, manutenção e disposição final relacionados ao edifício de taipa, tais fases não foram consideradas no escopo da ACV para nenhuma das paredes, sendo o estudo limitado entre a extração até a construção. Dados primários e secundários foram coletados para **constituir o Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**.

De posse dos dados do inventário, foram **realizados os ACVs simplificados**. Os métodos escolhidos foram o ACV modular (ACV-m), desenvolvida pelo CBCS; o *Impact Estimator for Buildings* (IE4B), desenvolvido pela *Athena Sustainable Materials Institute*; e o *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES), da *National Institute of Standards and Technology* (NIST). O ACV-m foi escolhido por ser um método brasileiro desenvolvido recentemente, e os outros dois por serem direcionados especificamente para profissionais da construção e também porque possuem *softwares* gratuitos e de fácil acesso, contribuindo assim para a propagação do método. Todos os dados foram organizados em planilhas do Microsoft Excel, para que todos os procedimentos de cálculo pudessem ser rastreáveis.

A aplicação dos três métodos e as análises geradas constituíram informações que viabilizaram a sua **comparação**. Foi realizado um ranqueamento quanto ao desempenho ambiental das paredes pelos três métodos e os resultados foram analisados para checar se a escolha de métodos simplificados tem interferência significativa no resultado final e o quanto interferem os diferentes escopos de cada método.

A seguir são apresentadas as considerações feitas para cada fase da pesquisa.

3.1 Coleta de dados e elaboração de inventário

Primeiramente foram realizadas medições *in loco* da habitação de referência para cálculo do volume das paredes de taipa e quantificação dos materiais utilizados. Depois foram feitos variados levantamentos em referências bibliográficas, conforme descritos a seguir:

- técnicas construtivas das paredes analisadas (bloco cerâmico furado, bloco de concreto e concreto moldado *in loco*), para compreensão do processo construtivo e quantificação dos materiais, em relatórios e guias técnicos. Foram utilizadas as seguintes referências: Manfredini e Sattler (2003); Nascimento (2002); Soares e Pereira (2004); Mastella (2012); Sansão (2011); ANICER (2012); ABDI (2010); Córdova (2007); Câmara (2013); Campos, F.H.A.(2012); Rosa (2010); CBCS (2014); PINI (2009); Frasson, Oliveira e Prudêncio (2010); Fochs (2011) e Castro, Santos e Araújo (2012); ABCP (2008);

- fluxos de entradas (matéria-prima, combustíveis, energia) e saídas (emissões) relacionados aos sistemas de produtos analisados, em relatórios, artigos e inventários, nacionais e internacionais. Além das descritas anteriormente também foram utilizadas as seguintes referências: Vianna (2006); MMA(2013); BEN (2014); CONAMA (2011); EPA (2010); Campos M.G. (2012); Ferreira (1987); Pelanda (2016); Brasil (2010); MCTI (2014); BEN (2006 a 2013); Silva B.V. (2013); Souza e Sales (2012); Rossi (2013); Intercement (2015); Votorantim (2015); Oliveira *et al.* (2014); EBC (2014); EIPPCB,IPTS (2013); Marques, Gomes e Kern (2016); Sjunesson (2005); Acelormittal (2015); IAB (2016); CNI (2012);
- peso e capacidade de carga de caminhões; produção horária e potência de pá-carregadeira e de caminhão betoneira, para o cálculo do consumo de combustível nas fases de extração; transporte dos materiais; e construção das paredes, em manuais técnicos, artigos, relatórios e apostilas. Para esses dados foram utilizadas as seguintes referências: Volkswagem (2016); Volvo (2016); Ford (2016); Doosan (2016); JCB (2016); Case (2016); Caterpillar (2016); Hyundai (2016); Lonking (2016); Jaworski (2011); PINI (2012); Campos E.(2012);
- potência dos equipamentos utilizados (compactador pneumático, betoneira, compressor de ar), para cálculo do consumo de energia na fase de construção das paredes de taipa, *in loco* e em manuais técnicos. Foram utilizadas as seguintes referências: ABESC (s.d); Menegotti (2016); CSM (2016); Horbach (2016);

A descrição dos procedimentos de cálculo são detalhadas no item 4.2, seguindo as recomendações descritas em Norma ISO 14040 (ABNT,2001).

De posse de todos os dados, foram feitos Inventários do Ciclo de Vida (ICV) para cada parede, relacionando-se todas as entradas e saídas (quantidade de materiais, energia incorporada, emissões e consumo de água). A seguir são apresentadas descrições do edifício de referência, e dos sistemas construtivos de paredes utilizados.

3.2 Os sistemas de paredes estudados

Para a comparação das alternativas construtivas de paredes foram utilizadas como referência as paredes de taipa mecanizada de um edifício construído. Como as paredes de taipa possuem função estrutural, todas as outras alternativas (bloco cerâmico furado; bloco de concreto e concreto moldado *in loco*) também são estruturais. Os itens seguintes apresentam o edifício de referência e um resumo de cada técnica construtiva, assim como os seus principais insumos, o ciclo de vida e a delimitação dos sistemas considerado neste trabalho.

3.2.1 Edifício de referência

O edifício em questão (Figura 9) é um protótipo de habitação rural, construído na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande-MS, dentro do Canteiro Experimental da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, e é a peça central de uma série de estudos relacionados à inovações para a sustentabilidade das políticas públicas de produção de habitação social rural em Mato Grosso do Sul.

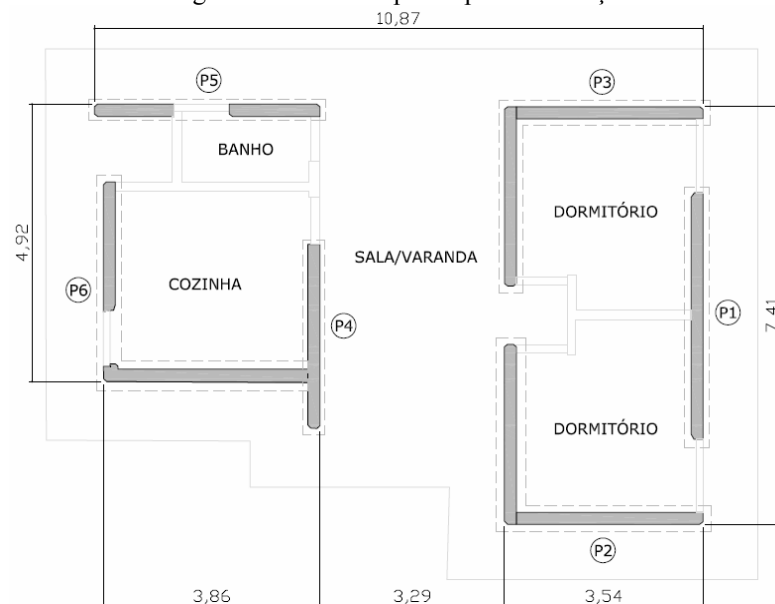
Figura 9. Protótipo de habitação



Fonte: Autora (2017).

O projeto da habitação possui dois quartos, uma varanda que substitui a sala, uma cozinha, um banheiro e uma área de serviço coberta. A Figura 10 apresenta a planta do protótipo de habitação, sendo que as paredes em cinza são as seis paredes em taipa que serão utilizadas como referência neste estudo.

Figura 10. Planta do protótipo de habitação.



Fonte: Autora (2017).

Além do projeto arquitetônico diferenciado, pensado para o estilo de vida campestre, o edifício é marcado pela escolha da técnica de construção em paredes maciças de solo estabilizado compactado, também conhecida como taipa de pilão, em versão mecanizada.

A técnica é associada aos princípios de sustentabilidade, e depois de cair em desuso pela substituição por materiais industrializados, vem sendo resgatada devido às suas vantagens ambientais em relação a outros materiais, tais como elevada massa térmica, desempenho estrutural, reversibilidade e alta disponibilidade de matéria-prima.

Essa técnica consiste basicamente na utilização da terra misturada a um aglomerante (cimento ou cal) em uma mistura de baixo teor de umidade (quase seca) compactada (apilada) entre formas de madeira (taipal). Pensou-se na utilização de terra, pois é um material abundante, facilmente encontrado na natureza diminuindo, assim, a necessidade de transporte de materiais da cidade para o campo.

Algumas das vantagens no uso de terra como material de construção estão no fato de a terra ser um material econômico, pois pode ser encontrada na maioria das vezes próximo aos locais de obras, dispensando assim as fases de transporte; além disso, quando não há adição de cimento, é um material reutilizável, podendo ser triturada e umedecida para voltar ao estado original, sendo assim não gera resíduos em uma obra e não contamina o meio ambiente; não necessitar de processos de transformação, não há combustão ou grandes consumos energéticos; ser um material não tóxico, garantindo a manutenção do equilíbrio ecológico; além de apresentar um bom comportamento térmico, devido à inércia térmica que ajuda a manter a temperatura interna constante; e bom comportamento acústico (BORGES; COLOMBO, 2009; SILVA, C.G.T., 2000)

As desvantagens estão no fato de não ser um material de construção padronizado variando de acordo com a jazida; na necessidade de proteger a construção de infiltrações de água com detalhes construtivos como beirais e evitar contato das paredes com o solo; e sofrer deformações significativas durante a secagem (PISANI, 2004).

No caso do protótipo em estudo o processo foi mecanizado e, para isso foi utilizado um compactador pneumático que substitui o pilão manual, de forma a acelerar e facilitar o processo de execução das paredes. As formas utilizadas foram de treliças metálicas com chapas de compensado. Além das paredes em taipa, foram feitas paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos (revestidos com azulejos) nas áreas molhadas, e de tijolos maciços nas paredes com esquadrias. A fundação foi feita em radier, sob as paredes de taipa foram feitos baldrames em concreto com armadura em aço, afastando a taipa do solo para evitar infiltrações por umidade ascendente.

Como o objeto de estudo deste trabalho são as paredes de taipa, os demais materiais utilizados serão apresentados de forma genérica na Tabela 5.

Tabela 5. Materiais utilizados no edifício de referência

FUNDAÇÃO EM RADIÉR	PAREDES			COBERTURA
	TAIPA MECANIZADA	ALVENARIA REVESTIDA	ALVENARIA APARENTE	
Brita	Solo	Bloco cerâmico	Tijolo maciço	Madeira de demolição (vigas e terças)
Chapas de madeira compensada plastificado (formas)	Cimento	Cimento	Cimento	Telha sanduíche – metal, EPS, e filme celulósico
Cimento	Microfibra de polipropileno	Areia	Areia	Testeira metálica
Tela Não informado de aço	Água	Aditivo plastificante	Água	Madeira de pinus (viga)
Areia lavada fina	Resina acrílica impermeabilizante	Água	Argamassa	
Água	Vergalhão de aço	Argamassa colante	Resina acrílica impermeabilizante	
Macrofibra de polipropileno	Estrutura de perfil de aço e chapas de compensado plastificado	Azulejo – revestimento cerâmico		
Lona plástica preta		Rejunte		
		Tinta látex acrílico		

Fonte: Autora (2017)

3.2.2 Paredes de taipa de pilão mecanizada

Os dados referentes ao processo de construção das paredes de taipa foram obtidos por observações *in loco* e no trabalho de Veraldo *et al.* (2014). As paredes de taipa foram construídas sobre uma fundação tipo radiér, feito de concreto usinado com adição de macrofibra de polipropileno. Primeiramente, foram montadas estruturas treliçadas, com fixação por parafusamento na fundação. A estrutura montada foi vedada com fôrmas de chapas de compensado plastificado. Dentro dessa forma foi lançada a mistura de taipa, constituída de solo arenoso (77% de areia, 3% de silte, 20% de argila); cimento (CPII-F32 e CPII-E32); microfibra de polipropileno e água. O traço para a mistura de solo-cimento foi de 1:12 (em volume); a microfibra correspondeu a 1,4% em relação à massa do cimento; e para a água a medida utilizada foi de um balde de água para doze de solo (baldes de dez litros) ou seja, cerca de 76,92 litros por m³ de massa de taipa.

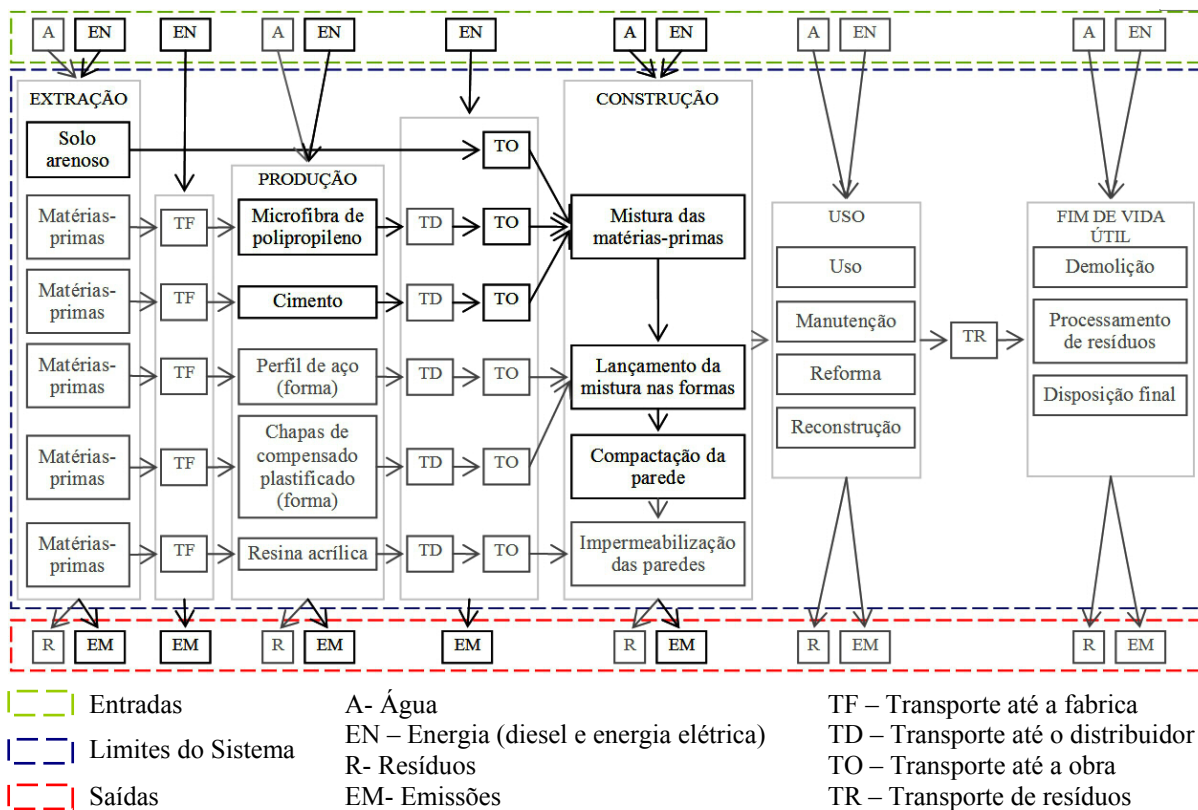
Foi feita a mistura e homogeneização da massa em uma betoneira, e foi lançada manualmente por baldes nas formas, em camadas de 20cm. Em seguida, foi feita compactação

mecanizada utilizando-se um compactador pneumático, alimentado por compressor de ar. Todos os equipamentos foram ligados à rede de energia elétrica. Após a compactação as camadas ficaram com espessura de 10 a 11 centímetros e, devido às deformações das formas, a espessura das paredes variou entre 21 e 24 centímetros, definida como 20cm no projeto. O processo foi repetido sucessivamente, encaixando-se novas fileiras de chapas de compensado até ser atingida a altura da parede, com pé-direito entre 2,80 e 3,50 metros. A secagem e cura das paredes foi feita sob lona plástica.

Para a instalação da cobertura em uma água, foi necessário realizar o desbaste do topo das paredes utilizando serra mármore e golpes de marreta. Sob as paredes prontas foram aplicadas camadas de resina acrílica impermeabilizante. As paredes, com tubulação embutida, foram executadas em alvenaria de blocos cerâmicos revestida, e as paredes com janelas foram executadas em alvenaria de tijolos maciços aparentes. A cobertura possui estrutura de madeira com fechamento em telhas metálicas tipo “sanduíche” com isolamento de camada de isopor.

A Figura 11 apresenta o ciclo de vida das paredes de taipa, sendo que os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 11. Ciclo de vida das paredes de taipa mecanizada



Fonte :Autora (2017)

3.2.3 Paredes de blocos cerâmicos furados

A argila é a principal matéria-prima utilizada no processo industrial de produção dos blocos. As fases de produção são a coleta da argila, preparação e mistura da massa, secagem e queima do bloco.

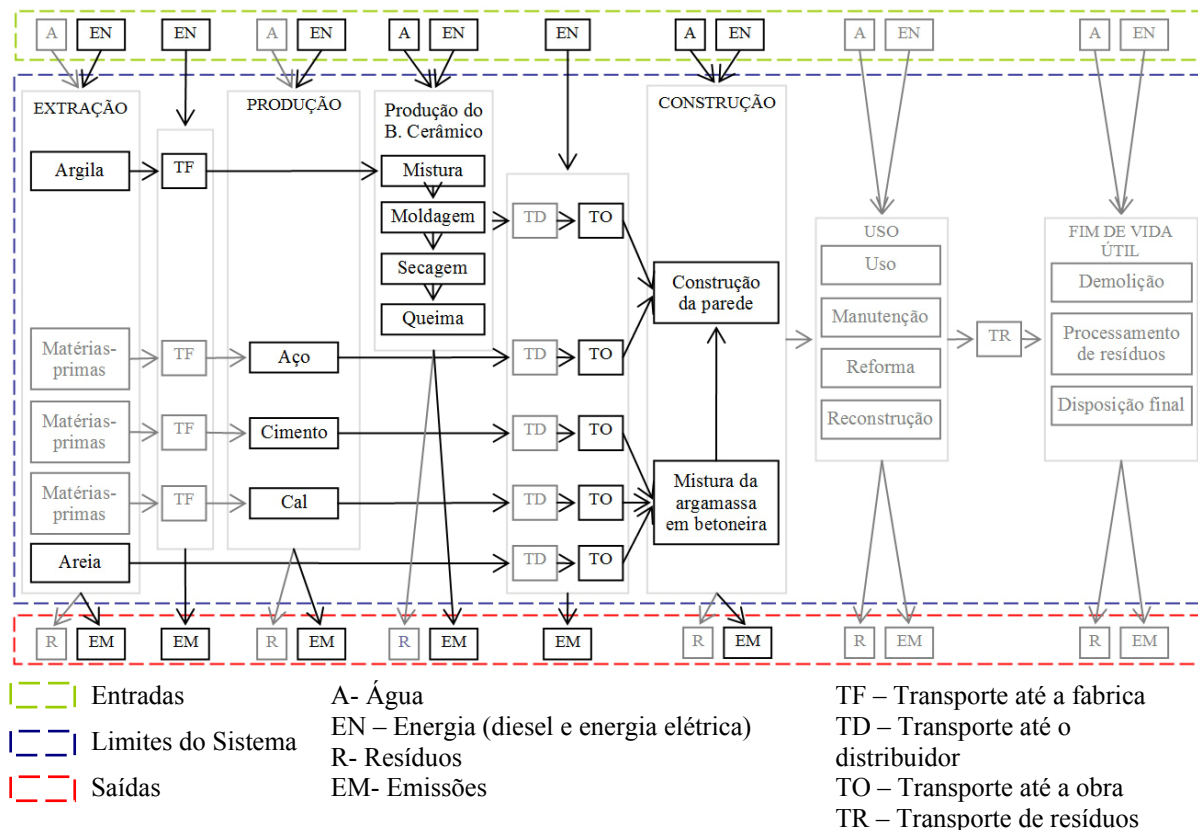
Primeiramente, a argila é extraída utilizando-se retroescavadeiras, carregadeiras e tratores, e depois transportada até a olaria. A argila passa por um processo de mistura e homogeneização, feita por equipamentos mecânicos e, posteriormente, essa mistura é umedecida com água para facilitar a trabalhabilidade. A mistura, em forma de pasta consistente, é transportada por meio de correia para a extrusora, onde o bloco é moldado. A extrusão ocorre durante a passagem da massa, sob alta pressão pela boquilha (peça em aço com o formato do perfil do bloco cerâmico) que está instalada na saída da extrusora para moldagem da massa. A massa extrudada em forma de barra contínua é encaminhada para a etapa de corte.

Após o corte, o bloco é encaminhado para a etapa de secagem, que é realizada lentamente em local fechado e com temperatura ambiente. Após a secagem natural, os blocos são colocados no interior do forno da olaria para o processo de queima. Os combustíveis usados nos fornos para a etapa de queima podem ser de origem fóssil (óleo BPF, gás GLP, coque de petróleo, gás natural) ou biomassa (lenha nativa, eucalipto, serragem seca, casca de coco, casca de arroz, casca de castanha, bagaço de cana). O combustível considerado para a queima dos blocos cerâmicos foi a lenha, combustível mais utilizado pelas olarias no Brasil (ABDI, 2010). Após a queima e resfriamento, os blocos cerâmicos seguem para a comercialização (MANFREDINI; SATTTLER, 2003).

Na fase de construção os blocos são assentados manualmente com a utilização de argamassa para assentamento, e as paredes são rebocadas externamente e internamente, as argamassas são misturadas em betoneira. São utilizadas armaduras de aço para o suporte da parede estrutural, e os sistemas hidráulicos e elétricos são embutidos nas paredes. Ao fim da vida, considera-se que a parede é demolida e os resíduos são depositados em aterros de materiais inertes (ANICER, 2012).

A Figura 12 apresenta o ciclo de vida das paredes de blocos cerâmicos furados. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 12. Ciclo de vida das paredes de blocos de cerâmicos furados



3.2.4 Paredes de blocos de concreto

Os blocos são feitos de areia, cimento, pedra britada e água. A produção dos blocos de concreto é mecanizada, seguindo as fases: recebimento dos materiais, dosagem e mistura; moldagem dos blocos; cura; transporte e estocagem. O cimento é entregue na fábrica, em carretas, guardado em silos e os agregados (areia e brita) chegam por caminhão. Esses materiais são pesados e dosados para a etapa de mistura, seguindo os traços especificados para cada bloco.

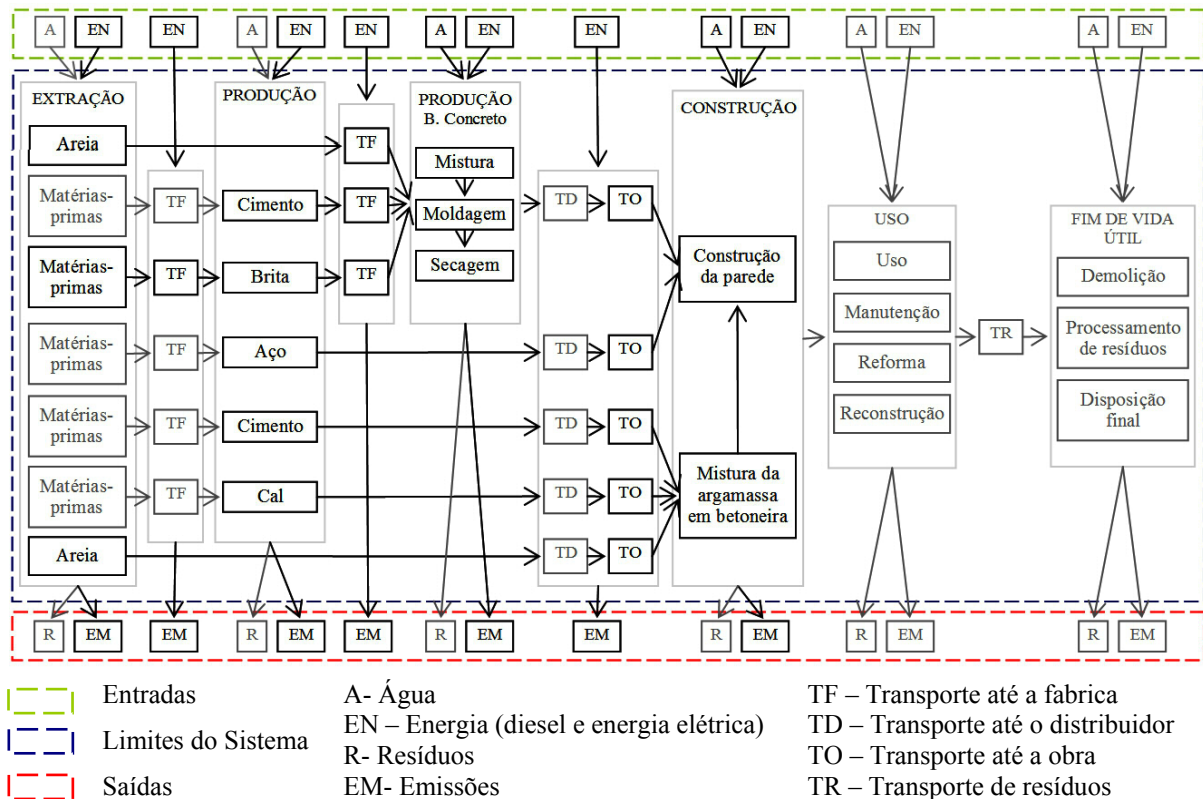
Após a mistura, feita mecanicamente, é utilizada a vibroprensa, onde o concreto fresco é colocado em moldes, sofrendo uma determinada vibração, prensado verticalmente por extratores. Depois da moldagem os blocos são empilhados sobre paletes de madeira e encaminhados à câmara de cura. O processo de cura é feito em ambiente saturado de água e é fundamental para que se obtenha boas propriedades dos blocos de concreto, evitando-se a perda de água durante as primeiras fases do endurecimento. Ao final do processo os blocos permanecem sobre os paletes, e ficam estocados até serem vendidos (CAMPOS, F., 2012).

Na fase de construção os blocos são assentados manualmente com a utilização de argamassa para assentamento (misturada em betoneira), e as paredes são rebocadas externamente

e internamente. São utilizadas armaduras de aço para o suporte da parede estrutural, e os sistemas hidráulicos e elétricos são embutidos nas paredes. Ao fim da vida, considera-se que a parede é demolida e os resíduos são enviados para aterros de materiais inertes (ANICER, 2012).

A Figura 13 apresenta o ciclo de vida das paredes de bloco de concreto. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 13. Ciclo de vida das paredes de blocos de concreto



3.2.5 Paredes de concreto moldado *in loco*

Este sistema construtivo tem como principal característica a moldagem, *in loco*, dos elementos estruturais, estrutura e vedação. Todas as paredes são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que após a retirada das formas, as paredes já tenham em seu interior todos os elementos embutidos (tubulações elétricas e hidráulicas, elementos de fixação, esquadrias, etc.)

A fundação é do tipo radier, e deve ser construída com um espaço excedente em relação à espessura dos painéis das formas de alumínio, permitindo apoio e facilitando a montagem. A armação de tela soldada é posicionada no eixo vertical da parede ou nas duas faces, dependendo do dimensionamento do projeto estrutural, e os vãos (portas e janelas) recebem reforço em telas ou barras de armadura convencional. Também são utilizadas barras

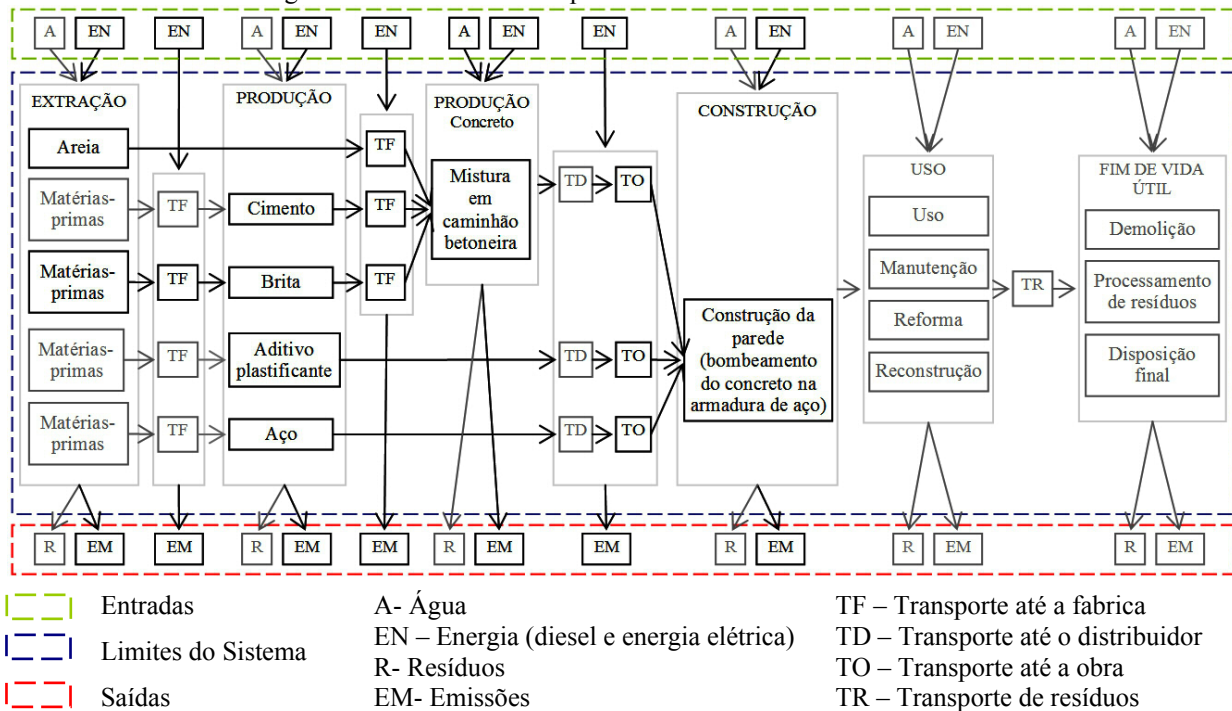
de aço, em pontos como na cinta superior das paredes, vergas, contravergas, etc. Para a montagem das formas primeiramente monta-se a armadura principal, em tela soldada, em seguida inserem-se as armaduras de reforços, ancoragens de cantos e cintas. Depois colocam-se os espaçadores plásticos, que garantem o posicionamento das telas e a geometria dos painéis das formas de alumínio.

O concreto, constituído de areia, cimento, brita e água, é misturado em centrais dosadoras e fornecidas ao canteiro de obras em caminhões betoneira e a mistura é completada no local da obra, com a incorporação do aditivo plastificante. O concreto é despejado entre as armaduras de aço e as formas de alumínio, pelo caminhão, que fica funcionando e controla a bomba para escoar o concreto. Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado com equipamento adequado para a trabalhabilidade, evitando-se a formação de ninhos ou segregação dos materiais. O procedimento de cura das paredes deve ser iniciado logo após a desforma evitando-se, assim, a secagem prematura do concreto (PINI, 2009).

As paredes de concreto moldado *in loco* possuem bom acabamento, não necessitando de aplicação de argamassas. Ao fim da vida, considera-se que a parede é demolida e os resíduos são enviados para aterros de materiais inertes.

A Figura 14 apresenta o ciclo de vida das paredes de concreto moldado *in loco*. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 14. Ciclo de vida das paredes de concreto moldado *in loco*



Fonte :Autora (2017).

3.3 Considerações para realização das ACVs

Neste item serão apresentados os métodos adotados neste trabalho, assim como as especificações e os impactos ambientais considerados por cada um deles para a aplicação da ACV.

3.3.1 Os métodos de simplificados ACV adotados

Foram utilizados três métodos simplificados de ACV voltados para o setor da construção civil, sendo um de origem nacional e os outros dois internacionais.

O primeiro, a Avaliação do Ciclo de Vida Modular (ACV-m), da CBCS, é um método brasileiro, e ainda está em fase inicial de desenvolvimento; o segundo método é o *Impact Estimator for Buildings* (IE4B), do *Athena Sustainable Materials Institute*, com banco de dados relativos à realidade dos EUA e do Canadá; e o último método analisado é o *Building for Environmental and Economic Sustainability* (BEES), desenvolvido pela *National Institute of Standards and Technology* (NIST), e é voltado para o mercado dos EUA.

Os dois métodos internacionais foram escolhidos para a realização desta pesquisa, apesar da recomendação de Silva, V. (2003), que diz que algumas ferramentas de suporte a decisões como BEES e ATHENA não podem ser usadas no Brasil, devido às suas bases de dados serem personalizadas para seus países de origem, e que apesar de possuírem semelhanças aos materiais e produtos de construção do Brasil, alguns processos-chave de produção e as práticas construtivas apresentam características muito diferentes. Além disso os *softwares* não são editáveis para permitir a inclusão manual de dados. Porém, apesar das limitações a própria autora admite que na falta de dados nacionais essas ferramentas podem ser usadas como ponto de partida, desde que fique claro que se tratam de dados internacionais que podem não representar os processos e condições brasileiras, mas podem dar uma noção de magnitude dos impactos.

Além disso esses dois métodos possuem *softwares* gratuitos, e de fácil acesso. Reforça ainda a decisão dessas escolhas, o fato de haver outros autores brasileiros que utilizam essas ferramentas para auxiliar em estudos de ACV voltados para edificações e elementos construtivos. A Tabela 6 apresenta alguns dos trabalhos que utilizaram as ferramentas BEES ou as ferramentas desenvolvidas pelo instituto Athena.

Tabela 6. Trabalhos que utilizaram as ferramentas BEES ou Athena

Autores	Tema	Ferramenta
GRIGOLETTI; SATTLER, 2003	Analisou a possibilidade de se utilizar dados presentes nos Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) de empresas de produção de aço no Rio Grande do Sul na ferramenta BEES 3.0. Conclui que apesar de não considerar todos dados necessários para o BEES, as informações presentes nas RIMAs são uma importante fonte de informações para a avaliação de impactos ambientais, e que apresenta outras questões importantes para a realidade brasileira, como geração de empregos, condições do ambiente de trabalho e impactos sobre as comunidades vizinhas ao local de produção, riscos a acidentes, que não são abordados no BEES.	BEES 3.0
OLIVEIRA, 2007	Buscou verificar a possibilidade de gerar dados confiáveis sobre os impactos causados durante o ciclo de vida das estruturas de concreto armado e comparar os resultados com os gerados pelo <i>software</i> BEES 3.0 para uma estrutura semelhante, verificando a validade de suas premissas para a realidade brasileira. Os resultados obtidos pelo ACV feito com dados brasileiros e aqueles obtidos pela ferramenta BEES, foram bastante divergentes, concluindo-se que os resultados do BEES, por terem como base dados de produção de um país muito diferente do Brasil, não são confiáveis, devendo ser usados preferencialmente de forma comparativa. O autor também enfatiza a importância de elaboração de inventários nacionais, para que seja possível utilizá-los nessas ferramentas e obter resultados mais confiáveis.	BEES 3.0
MARCHESINI; MONICH; TAVARES, 2011	Utilizou a ferramenta BEES para avaliar a energia embutida em móveis utilizados em escritórios, e comparou com resultados de análise de ciclo de vida energético de edifícios feitos anteriormente, de forma a analisar a influência da energia embutida no mobiliário na energia total de um edifício. Conclui que o mobiliário tem influência significativa. Os autores advertem que a pesquisa tem como ponto fraco, o fato de ter utilizado dados da realidade dos EUA, podendo os resultados serem irreais, dessa forma aconselham que novos estudos adotem dados brasileiros.	BEES Online
SILVA, C. et al, 2014	Avaliou e comparou os impactos do processo de pavimentação rígida (concreto) e pavimentação flexível (asfalto). Concluiu que a pavimentação flexível causa menos impactos. Porém os autores advertem que os dados utilizados são relativos à realidade americana, e que é preciso investir em pesquisas ambientais, que possibilitem a geração de dados nacionais.	BEES 2012
RIGON et al, 2014	Avaliou o desempenho ambiental obtido por concretos com diferentes teores de substituição de cimento por cinzas volantes, e conclui que quanto maior a quantidade de resíduos adicionados melhor o desempenho ambiental. Os autores advertem que os resultados devem ser tomados com cautela, já que os dados são americanos.	BEES 4.0
MONICH, 2012	Avaliou os impactos de uma habitação social pré-fabricada no sistema <i>wood frame</i> na cidade de Curitiba. Foram utilizados dados de energia e carbono embutidos no sistema, provenientes de três fontes: a tese de Tavares (2006), a avaliação do ciclo de vida de Paineis de Tiras de Madeira Orientada (OSB) desenvolvida pelo ATHENA (2008) e do <i>Inventory of Carbon & Energy</i> (ICE, 2011). O autor observa que os dados são provenientes da realidade americana, mas que como no Brasil muitos materiais para este tipo de habitação são importados, e que as diferenças entre os resultados foi pequena, mantendo as mesmas proporções.	Banco de dados do Athena
INVIDIATA; GUTHS; LIBRELOTTO, 2014	Avaliou o impacto de esquadrias em alumínio em uma Habitação de Interesse Social (HIS). Os autores explicam que pela falta de dados brasileiros foram utilizados dados internacionais, que podem gerar resultados diferente à realidade brasileira.	Athena Eco Calculator for Residencial Assembles

Fonte: Autora (2017).

Todos os autores advertem que as ferramentas utilizadas são relativas à realidade americana, e além dessa limitação, outra dificuldade é a falta de dados disponíveis no Brasil. Dessa forma, ressalta-se que os resultados de avaliação dessas ferramentas podem ser distorcidos com relação à realidade brasileira.

Apesar de neste trabalho terem sido utilizados dados em sua maioria relativos à produção brasileira para a elaboração dos inventários, as etapas avaliação de impacto consideradas por esses métodos são baseadas em normas americanas e canadenses, e podem apresentar desvios com relação à realidade brasileira. Algumas pesquisas recentes têm buscado desenvolver métodos de avaliação de impacto para o Brasil (SILVA, A., 2010; MENDES, 2013), porém, ainda estão em fase inicial e não há consenso nesses métodos, desta forma foram utilizados os métodos utilizados nas ferramentas selecionadas.

3.3.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida Modular – ACV-m

A Avaliação do Ciclo de Vida Modular (ACV-m), da CBCS, é um método brasileiro, e ainda está em fase inicial de desenvolvimento, sendo considerado o piloto para o estabelecimento de uma plataforma nacional de ACV simplificada, proposta pela CBCS. A intenção é que a partir do primeiro módulo mínimo, o estudo possa ser progressivo, até resultar em uma ACV completa. Apesar de reduzido, o método é sincronizado com o método tradicional, assim sua característica principal e importância não são perdidas, alcançando-se bons resultados em menos tempo e com menor custo (CBCS, 2014).

O método ainda não possui nenhum *software* disponível. Para a ACV-m foi utilizado como base o relatório “Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimentos de concreto: Avaliação de Ciclo de Vida Modular”, do CBCS (2014). O primeiro módulo abordado pelo relatório do CBCS (2014) apresenta um escopo mínimo, cujos indicadores ambientais são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Indicadores de impacto da ACV-m

INDICADOR DE IMPACTO	DESCRIÇÃO	UNIDADE
Consumo de Matérias-Primas	Refere-se ao consumo das matérias-primas, medindo a eficiência no uso de dos recursos materiais do sistema de produção.	kg
Emissões de CO₂	Relativo à emissão de CO ₂ total envolvida em todo o processo de produção do edifício ou produto, ou seja, valores estimados para as fases de extração e processamento das matérias-primas; no processo produtivo dos produtos; no transporte da fábrica até o local da obra e na construção do edifício.	kgCO ₂
Energia Incorporada	Composto pela energia envolvida em todo o processo de produção do edifício ou produto, ou seja, a energia estimada para o transporte das matérias-primas, para a extração e processamento, e a energia utilizada no processo produtivo dos produtos, no transporte da fábrica até o local da obra e na construção do edifício.	MJ
Consumo de Água	Relativo à água consumida em todas as fases do sistema, como água incorporada no produto, consumida pela fábrica, água de limpeza de máquinas, entre outros.	Litros
Geração de Resíduos	Definido como toda a matéria resultante do processo produtivo que não aquela que é o objetivo pelo qual se montou o processo.	Kg

Fonte: Elaborado a partir de CBCS (2014).

Os indicadores da ACV-m são coletados diretamente do inventário, e não são relacionados a nenhuma categoria de impacto (ex.: aquecimento global, toxicidade humana). O método também não possui nenhuma consideração quanto à normalização e ponderação dos indicadores.

3.3.1.2 Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts – TRACI

Os dois métodos simplificados de ACV internacionais escolhidos utilizam como base para a avaliação de impactos ambientais o método TRACI, desenvolvido pelo *U.S EPA Office of Research and Development*. O método foi desenvolvido a partir de um estudo extenso de trabalhos com variadas metodologias de avaliação de impactos, reunindo aqueles que melhor se aplicavam na realidade dos Estados Unidos, tendo como base vários programas e regulamentos ambientais. As categorias de impacto consideradas são apresentadas a seguir:

1. **Acidificação:** refere-se ao aumento da concentração de íons de hidrogênio (H⁺) no ambiente. Os dois compostos, principalmente envolvidos na acidificação são enxofre e nitrogênio e a principal fonte, são a combustão de combustíveis fósseis e de biomassa, aumentando a acidez do ambiente.
2. **Eutrofização:** é a adição de nutrientes minerais para o solo ou a água, que aceleram o crescimento de algas e plantas de forma indesejada. As principais substâncias envolvidas na eutrofização são o nitrogênio e o fósforo.
3. **Mudança climática global:** refere-se ao aquecimento global, resultado do aumento das emissões de gases do efeito estufa devido a atividades humanas.
4. **Depleção do ozônio:** o ozônio dentro da estratosfera proporciona proteção contra a radiação. Algumas substâncias atacam a camada de ozônio, provocando a sua redução, o que aumenta os riscos à saúde humana, à fauna e à flora. As substâncias relacionadas à diminuição do nível de ozônio estratosférico são os clorofluorocarbonetos (CFCs) e os halons.
5. **Saúde humana - particulados:** Também chamada de poluição atmosférica, refere-se à emissão de matéria particulada, derivadas de combustão de combustíveis fósseis, combustão de madeira e partículas de poeira provenientes de estradas e campos. O material particulado é dividido em dois grupos principais: "partículas grossas inaláveis", com diâmetro entre 2,5 e 10

micrômetros (como poeira de estradas); e "partículas finas", menores ou iguais a 2,5 micrômetros de diâmetro (produtos da combustão).

6. **Saúde humana:** relativo aos danos à saúde humana devido à exposição a substâncias industriais ou naturais, e combina efeitos cancerígenos e não-cancerígenos. Admite a combinação dos impactos cancerígenos e não cancerígenos em um único fator, mas recomenda que eles sejam tratados de forma separada.
7. **Toxicidade ecológica:** mede o potencial que um produto químico lançado no ambiente tem para prejudicar ecossistemas aquáticos e terrestres. São medidos a concentração de poluentes de fontes industriais e o potencial desses em prejudicar o meio ambiente.
8. **Formação de Smog fotoquímico:** *Smog* é o acúmulo da poluição do ar nas cidades, que forma uma grande neblina de fumaça no ambiente atmosférico próximo à superfície, podendo causar danos à saúde humana e danos à vegetação. As principais fontes responsáveis pela emissão de substâncias são a combustão por veículos e as instalações industriais.
9. **Esgotamento de combustíveis fósseis:** mede como a quantidade de energia necessária para extrair uma unidade de energia para consumo muda ao longo do tempo. O fator é medido em excedente de megajoules (MJ) por unidade funcional de produto e avalia os requisitos de excedente de energia a partir do consumo de combustíveis fósseis.
10. **Uso do solo:** mede o potencial de uso da terra por seres humanos, que resulta em alterações em *habitats* e leva ao dano de espécies ameaçadas. A unidade de medida é quantidade de espécies ameaçadas (*Threatened and Endangered (T&E) Species*) por m². Esse fator é utilizado como uma aproximação, e não considera a condição original do solo, a extensão da interferência humana na mudança do solo, ou o período de tempo necessário para a recuperação do solo.
11. **Uso da água:** considera apenas o consumo de água e não dados relativos à poluição da água. Os valores são coletados diretamente do inventário.

O manual do TRACI (BARE, J. 2014) deixa claro que é necessária a compreensão da incerteza envolvida em vários resultados. A incerteza nos resultados calculados pode ser altamente variável, dependendo da categoria de impacto e de sua metodologia subjacente.

3.3.1.3 Impact Estimator for Buildings –IE4B

O *Impact Estimator for Buildings* (IE4B), do *Athena Sustainable Materials Institute*, é voltado especificamente para engenheiros, arquitetos e consultores de *design* sustentável. Ele foi criado em 2000, e desde então vem passando por atualizações, sendo que a última foi em 2014. Possui um *software* gratuito disponível para *download*, que não foi utilizado neste trabalho pois o banco de dados limita-se à produção dos EUA e Canadá, e desta forma foi utilizado o manual do usuário e documento de transparência do IE4B v.5 (ATHENA, 2014) como referência para a aplicação do método, utilizando-se dados para a realidade brasileira, sempre que possível.

O método avalia nove categorias de impacto, sendo seis delas em concordância com o modelo TRACI, e as outras adicionais. As categorias de impacto são acessadas multiplicando-se a quantidade total da substância (ex.: kg de CO₂) pelo seu respectivo fator de caracterização (ex.: fator 1 para potencial de aquecimento global).

A Tabela 8 apresenta os impactos ambientais considerados pelo IE4B, assim como os fatores de caracterização de cada uma para as substâncias consideradas neste trabalho. O IE4B está em concordância com a versão TRACI 2.1 (BARE, J., 2014), e os valores de caracterização para todas as substâncias abordadas podem ser encontradas em:

<https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>.

Tabela 8. Categorias de impacto e fatores de caracterização do IE4B

			(Continua)
CATEGORIA DE IMPACTO	FLUXOS	FATOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Potencial de aquecimento global	Dióxido de carbono (CO ₂)	1	kg CO ₂ eq / kg substância
	Metano (CH ₄)	25	
	Óxido Nitroso (N ₂ O)	298	
Potencial de acidificação	Amônia (NH ₃)	1,88	kg SO ₂ eq / kg substância
	Óxidos de Nitrogênio (NO _x como NO ₂)	0,70	
	Óxidos de enxofre (SO _x como SO ₂)	1	
Potencial de eutrofização (ar)	Amônia (NH ₃)	0,12	kg N eq /
	Óxidos de Nitrogênio (NO _x como NO ₂)	0,04	kg substância
Poluição atmosférica	Amônia (NH ₃)	0,07	M P _{2,5} eq / kg substância
	Óxidos de Nitrogênio (NO _x como NO ₂)	0,01	
	Particulados (MP ₁₀)	0,23	
	Particulados (MP _{2,5})	1	
	Óxido de enxofre (SO ₂)	0,06	
Potencial de formação de <i>smog</i>	Óxido de Nitrogênio (NO _x)	24,80	kg O ₃ eq / kg substância
	Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1,68	
	Metano (CH ₄)	0,01	
	Composto Orgânico Volátil (COV)	3,60	

Tabela 8. Categorias de impacto e fatores de caracterização do IE4B

			(Conclusão)
CATEGORIA DE IMPACTO	FLUXOS	FATOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Potencial de depleção da camada de ozônio	Relacionado a emissões de CFCs, Halon, Brometo de metila e Tricloroetano.		kg CFC-11 eq / kg substância
Consumo total de energia primária	Inclui toda a energia, direta e indireta, usada para transportar ou transformar matérias primas, incluindo energia inerte contida em matéria-prima ou combustíveis (ex.: gás natural). Também inclui a energia indireta relativa ao processamento, transporte, conversão, e distribuição de combustíveis e energia, além da energia operacional.		MJ
Consumo de energia não renovável	É uma subcategoria do consumo total de energia primária, e inclui energia relativa ao consumo de combustíveis fósseis e nuclear.		MJ
Consumo de combustível fóssil	É uma subcategoria do consumo total de energia primária, relativo a todas as energias, exceto de fonte hidráulica, nuclear, e madeira.		MJ

Fonte: Elaborado a partir de Athena (2014).

O IE4B não possui pontuação ou classificação e os resultados são simplesmente uma declaração do desempenho do edifício pelo método ACV. O manual adverte que o ACV é uma ciência não exata, e que os resultados são apenas aproximações que ajudam a guiar escolhas e decisões futuras. Os resultados ajudam a identificar pontos de maior impacto de um edifício, e a tomar medidas como substituir um determinado material, por exemplo (ATHENA, 2014).

3.3.1.4 *Building for Environmental and Economic Sustainability – BEES*

Desenvolvido pelo programa de *Healthy and Sustainable Buildings* da *U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST)*, o projeto BEES teve início em 1994, com o objetivo de desenvolver uma metodologia sistemática para seleção de materiais que alcançassem um balanço adequado entre a performance ambiental e econômica. O método BEES está implementado em um *software* e disponível publicamente, e possui dados relativos à realidade americana para uma diversa quantidade de materiais de construção. A última atualização do *software* foi em 2010, e utiliza a versão TRACI 1.0 para a caracterização das categorias de impacto ambiental.

O desempenho ambiental do produto é medido utilizando-se a ACV, e seguindo a ISO 14040, que possui uma série de orientações padronizadas para a ACV. O desempenho econômico é medido de forma separada e faz uso do método life-cycle cost (LCC) da American Society for Testing and Materials (ASTM International). Esses dois desempenhos são depois sintetizados, e classificados com base no UNIFORMAT II, método de classificação de elementos construtivos da ASTM. Neste trabalho é tratado apenas o desempenho ambiental dos materiais, portanto, o desempenho econômico não será desenvolvido. A Figura 15 representa os passos para a elaboração da pontuação do BEES.

Tabela 9. Categorias de impacto e fatores de caracterização do BEES

CATEGORIA DE IMPACTO	FLUXOS	FATOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
Potencial de aquecimento global	Dióxido de carbono (CO ₂)	1	CO ₂ -equivalentes
	Metano (CH ₄)	23	
	Óxido Nitroso (N ₂ O)	296	
Potencial de acidificação	Amônia (NH ₃)	95,49	Íons de hidrogênio equivalentes
	Óxidos de Nitrogênio (NOx como NO ₂)	40,04	
	Óxidos de enxofre (SOx como SO ₂)	50,79	
Potencial de eutrofização	Amônia (NH ₃)	0,12	Nitrogenio-equivalentes
	Óxidos de Nitrogênio (NOx como NO ₂)	0,04	
	Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,09	
Esgotamento de combustível fóssil	Carvão	0,25	Excedente de MJ/kg
	Gás Natural	7,80	
	Óleo	6,12	
Qualidade do ar interno	Refere ao total de COVs (Composto Orgânico Volátil) emitidos por produtos como tintas, isolantes, e revestimentos, durante as primeiras horas de uso do edifício.		Gramas de COVs
Alteração do habitat	Refere-se aos resíduos gerados nas etapas de uso e fim de vida do edifício e ao impacto por sua disposição em aterros.		T&E/m ²
Consumo de água	Consumo de água	N.A.	Litros
Poluição atmosférica	Óxidos de Nitrogênio (NOx como NO ₂)	0,002	microDALY's /g
	Particulados (>PM ₁₀)	0,046	
	Particulados (<=PM ₁₀)	0,083	
	Particulados (não especificado)	0,046	
	Óxidos de enxofre (SOx como SO ₂)	0,014	
Saúde humana	Mercúrio (Hg)	19.255.160	Tolueno-equivalentes
Potencial de formação de smog	Óxidos de Nitrogênio (NOx como NO ₂)	1,24	Óxidos de Nitrogênio equivalentes
Potencial de depleção da camada de ozônio	Relacionado a emissões de CFCs, Halon, Brometo de metilo e Tricloroetano.		CFC-11 equivalentes
Toxicidade ecológica	Mercúrio (Hg)	118.758,09	2,4-D equivalentes

Fonte: Elaborado a partir de NIST (2010).

Depois do cálculo dos impactos ambientais é feita a normalização, convertendo todos os valores para uma mesma escala, definida como fluxo, por ano, *per capita*, com base no método desenvolvido pela U.S EPA *Office of Research and Development*, especificamente para o método TRACI, sendo que todos os valores são relativos à realidade dos EUA. A normalização é feita dividindo-se os valores de impacto específicos do produto (valores obtidos após a caracterização) pelos valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores de normalização do BEES

(continua)

IMPACTO	VALOR DE NORMALIZAÇÃO	UNIDADE
Potencial de aquecimento global	25.582.640,09	g CO ₂ equivalentes/ano/capta
Potencial de acidificação	7.800.200.000,00	millimoles H ⁺ equivalentes/ano/capta
Potencial de eutrofização	19.214,20	g N equivalentes/ano/capta
Depleção de combustíveis fósseis	35.309,00	MJ energia excedente/ano/capta
Qualidade do ar interno	35.108,09	g COVs/ano/capta

Tabela 10. Valores de normalização do BEES

(conclusão)

IMPACTO	VALOR DE NORMALIZAÇÃO	UNIDADE
Alteração do habitat	0,00335	T&E count/acre/capta
Consumo de água	529.957,75	Litros de água/ano/capta
Poluição atmosférica	19.200,00	microDALYs/ano/capta
Potencial de formação de SMOG	151.500,03	g NOx equivalentes/ano/capta
Toxicidade ecológica	81.646,72	g 2,4-D equivalentes/ano/capta
Depleção do ozônio	340,19	g CFC-11 equivalentes/ano/capta
Saúde humana	274557.555,37	g C ₇ H ₈ equivalentes/ano/capta

Fonte: NIST (2010).

Depois da normalização os impactos são ponderados, definindo-se o grau de importância para cada um, e assim os valores podem ser somados em um único indicador, gerando uma pontuação total para o BEES, e quanto menor a pontuação melhor o produto é ambientalmente. O *software* BEES possui quatro categorias de ponderação: na primeira o usuário define os pesos da forma que achar mais conveniente; no segundo denominado “Pesos Iguais”, os pesos são distribuídos da forma mais uniforme possível; a terceira categoria foi desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*), baseada na opinião de seus especialistas científicos. A última “*BEES stakeholder panel*” foi desenvolvida pela NIST, baseado na opinião de produtores (ex.: fabricantes de produtos de construção); usuários do BEES (ex.: *designers* de edifícios verdes); e especialistas em ACV. Neste trabalho foi considerada a metodologia de ponderação desenvolvida pela EPA, já que ela também é responsável pela metodologia TRACI. A Tabela 11 apresenta os valores de ponderação para três categorias.

Tabela 11. Valores de ponderação do BEES

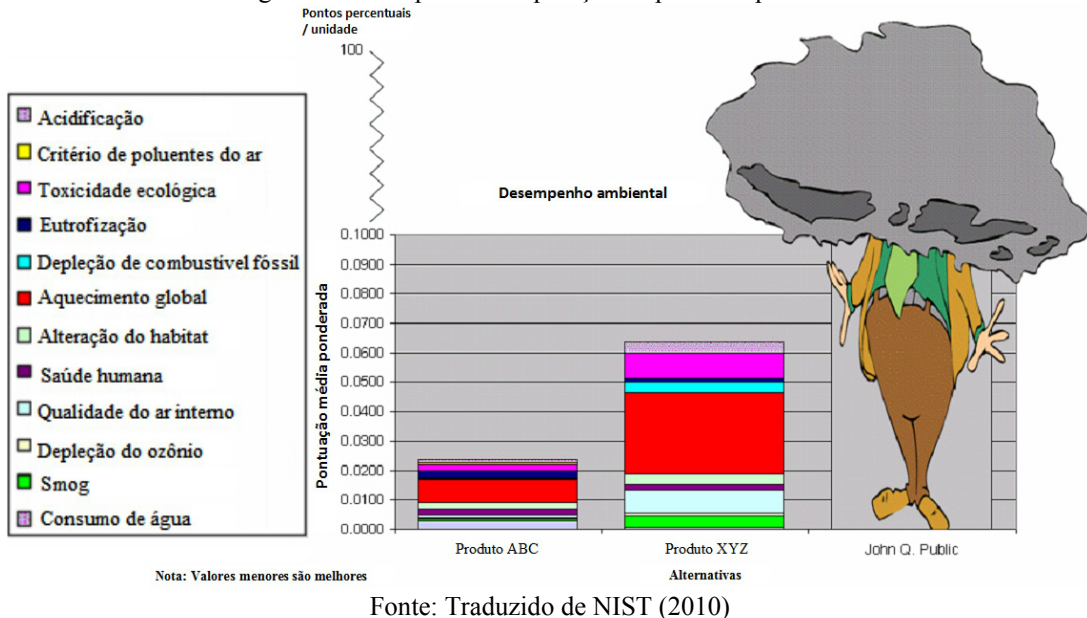
IMPACTO	PESOS IGUAIS	EPA Science Advisory Board	BEES- stakeholder panel
Potencial de aquecimento global	9	16	29
Potencial de acidificação	9	5	3
Potencial de eutrofização	9	5	6
Depleção de combustíveis fósseis	9	5	10
Qualidade do ar interno	8	11	3
Alteração do habitat	8	16	6
Consumo de água	8	3	8
Poluição atmosférica	8	6	9
Potencial de formação de <i>smog</i>	8	6	4
Toxicidade ecológica	8	11	7
Depleção do ozônio	8	5	2
Saúde humana	8	11	13
SOMA	100	100	100

Fonte: NIST (2010).

A Figura 16, foi retirada do manual do usuário (NIST, 2010), e exemplifica o funcionamento do BEES para a comparação de dois produtos diferentes (ABC e XYZ) e a

porcentagem da contribuição dos impactos de cada produto para o total de impacto gerado por uma pessoa (John Q. Public), por ano, para os EUA . Como pode ser visto, o produto ABC é menos impactante que o produto XYZ, pois contribui em média 0,0230% para o impacto anual *per capita*, enquanto o segundo contribui com 0,0640% para o impacto.

Figura 16. Exemplo de comparação de produtos pelo BEES



3.4 Considerações para comparação dos métodos de ACV

Para a comparação dos métodos de ACV foram elaborados gráficos, e feita a classificação de impacto ambiental das paredes, por meio de ranqueamento (1º lugar para menos impactante e 4º para mais), para comparação dos resultados entre as ferramentas e a análise das diferenças encontradas.

Ao contrário do BEES, os resultados do ACV-m e do IE4B não geram uma pontuação única, o que dificulta na etapa de ranqueamento das paredes e, conseqüentemente, de comparação dos métodos. Para contornar essas dificuldades, foi adotado um método de pontuação seguindo o seguinte raciocínio: como nos dois últimos métodos não há considerações quanto à importância de cada impacto em relação ao outro, estes foram considerados como possuindo o mesmo peso, ou seja, as conseqüências dos impactos relativos à emissão de CO₂ seriam tão importantes quanto as do consumo de água. Dessa forma, a classificação da parede em cada categoria de impacto foi utilizada como forma de pontuar as paredes, utilizando-se uma abordagem baseada em escalas, conforme apresentado em MOURON *et al.* (2010) e *PRé Sustainability* (2016).

Na abordagem baseada em escalas, os dados são interpretados e pontuações são atribuídas à categoria de impacto em relação a uma escala, para o qual o indicador de desempenho foi considerado relevante. Dessa forma, a escala permite a comparação dos dados com uma referência, como um padrão internacional, a média da indústria, uma meta estabelecida, ou um produto de referência (PRé Sustainability, 2016). Comumente as escalas são divididas em cinco posições, cada uma relativa a um desempenho de referência, definida pelos responsáveis pela avaliação, a qual são agregadas as pontuações. O exemplo a seguir definiu as pontuações de -2 (pior desempenho) a +2 (melhor desempenho).

Figura 17. Exemplo de pontuação por escala

Pontos de referência de desempenho	
+2	Desempenho ideal
+1	Desempenho intermediário positivo
0	Alinhado com os padrões internacionais
-1	Desempenho intermediário negativo
-2	Desempenho não aceitável

Fonte: PRé Sustainability (2016).

Seguindo esse raciocínio, as paredes foram classificadas de acordo com o seu desempenho em relação às paredes de taipa (parede de referência), podendo ser considerada similar, melhor, muito melhor, pior ou muito pior para um determinado indicador ambiental. Os pontos de referência foram estabelecidos considerando-se as diferenças (%) entre os valores totais dos impactos para cada parede obtidos após a aplicação do ACV-m e do IE4B.

As diferenças entre as paredes com relação à parede de taipa foi obtida com a equação (2):

$$\text{Diferença\%} = (\text{Parede de taipa} - \text{Parede considerada}) * 100 / \text{Parede de taipa} \quad (2)$$

Primeiramente estabeleceu-se as seguintes escalas de diferença: 0% (idêntico à parede de taipa) a 100% (muito melhor que a parede de taipa) e -100% (muito pior que as paredes de taipa). Depois essa escala foi subdividida em cinco partes iguais, e para cada intervalo de 40% foi dada uma pontuação, sendo de inferior a -100% a -60% (muito pior = 5 pontos); de -60% a -20% (pior = 4 pontos); de -20% a +20% (similar = 3 pontos); de +20% a +60% (melhor = 2 pontos); e de +60% a +100% em diante (muito melhor = 1 ponto). Após essa definição, a escala foi subdividida em partes iguais, de forma a diminuir possibilidades de empate entre as paredes e detalhar mais as diferenças entre os seus desempenhos ambientais, possibilitando melhor classificação. A Tabela 12 apresenta as classificações das paredes e a pontuação para cada intervalo de diferença (%).

Tabela 12. Classificação das paredes e pontuação considerada

Classificação	1º Pontuação	2º Pontuação	Escalas
Muito melhor	1	0,25	
		0,50	
		0,75	
		1,00	
Melhor	2	1,25	
		1,50	
		1,75	
Similar	3	2	
		2,25	
		2,50	
		2,75	
Pior	4	3,00	
		3,25	
		3,50	
		3,75	
Muito pior	5	4,00	
		4,25	
		4,50	
		4,75	
		5,00	

Fonte: Autora (2017).

Após o cálculo das diferenças e as definições anteriores, foram atribuídas a cada parede as suas respectivas pontuações de acordo com o apresentado na Tabela 12. As pontuações obtidas em cada impacto, para cada parede, foram então somadas, gerando uma pontuação única, com a qual foi possível classificar as paredes, sendo a menor pontuação correspondente ao 1º lugar e a maior pontuação ao 4º lugar.

3.5 Limitações da pesquisa

As limitações da pesquisa se confundem com as limitações da ACV, já que ela depende muito dos resultados da ACV. De forma geral a maior limitação enfrentada nesta pesquisa foi a falta de dados para elaboração da ACV, o que levou a necessidade de estabelecer diversas considerações e pressupostos, gerando dados distantes da realidade, que consequentemente resultaram em incertezas.

Algumas limitações específicas da pesquisa estão relacionadas à etapa de comparação dos métodos de ACV, objetivo desta pesquisa. Como ainda não existe consenso nos critérios para a comparação de sistemas ou produtos analisados pela ACV, foi utilizado um método baseado em bibliografias (item 3.4), que pode não ser o mais apropriado. As demais limitações estão relacionadas ao ACV propriamente dito, que serão detalhadas no item 4.3.5.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das ACVs, seguindo as etapas descritas anteriormente, sendo feita a comparação dos resultados desses métodos de forma a identificar a influência da escolha do método no resultado da ACV.

Para o desenvolvimento da ACV foi necessário seguir uma série de etapas, em concordância com a ISO 14040 (ABNT, 2001). Neste trabalho, dividiu-se o estudo da seguinte maneira:

1. **Definição do objetivo e escopo:** é apresentado o limite do sistema estudado de forma geral, da extração até a construção. Também são apresentadas as características desses sistemas construtivos e é definida a unidade funcional;
2. **Análise de Inventário:** Essa fase é subdividida em duas etapas. Primeiramente foram coletados dados de fatores de emissão e de energia incorporada nos insumos consumidos por cada sistema de parede, cujos processos de cálculo estão descritos nos Apêndices A e B. Também são apresentadas informações sobre os equipamentos utilizados e dados sobre o transporte. Depois, para cada tipo de parede (taipa de pilão mecanizada, blocos cerâmicos furados, blocos de concreto, concreto moldado *in loco*) são apresentados a quantificação dos materiais utilizados e o consumo de combustíveis e energia. Ao final, é apresentada uma tabela com o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para cada parede, que será utilizada na fase seguinte;
3. **Avaliação de impacto e interpretação:** neste item é feita a aplicação dos métodos de ACV (ACV-m, do IE4B e BEES), os resultados de cada um são apresentados na forma de tabelas e gráficos, e são interpretados identificando-se qual a fase mais impactante do sistema (extração, produção, transporte ou construção). Também é feita uma classificação das paredes quanto ao desempenho ambiental em cada método de ACV; e
4. Por último, é feita a **comparação de resultados** entre os três métodos e análise das diferenças encontradas. A comparação não faz parte obrigatória de uma ACV, e a norma não define métodos para a comparação de resultados, apenas estabelece alguns critérios básicos a serem seguidos caso seja feito um estudo de ACV com esse objetivo. Os critérios adotados aqui são específicos para esta pesquisa.

4.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo deste estudo de ACV é comparar o desempenho ambiental de paredes de taipa de pilão mecanizada com paredes convencionais (bloco cerâmico furado, bloco de concreto e concreto moldado *in loco*), utilizando-se como referência as paredes de um edifício existente.

As informações relativas às paredes de taipa foram coletadas por meio de medições *in loco* do edifício e com a equipe técnica. A coleta de dados teve início em 14 de maio de 2014, após o término da construção do protótipo. Um estudo de ACV deve ser feito, preferencialmente, ao longo do processo produtivo do sistema, desde o projeto, durante a construção, até o descarte de resíduos da obra, o que não ocorreu. Este estudo possui falhas quanto à qualidade dos dados, já que não foram feitos registros, da quantidade de alguns materiais utilizados, e do tempo de funcionamento de equipamentos elétricos, sendo estes obtidos por amostra e calculados por outros métodos. Para a análise dos outros tipos de paredes foram utilizados dados da bibliografia, em documentos diversos como relatórios, guias técnicos, artigos e trabalhos acadêmicos.

O estudo foi delimitado entre a extração/produção das matérias-primas até a construção da parede, sem considerar dados de matérias-primas para produção do cimento, aço e microfibras de polipropileno. O transporte foi simplificado, desconsiderando o transporte da fábrica até a loja, e da loja até a obra.

A unidade funcional considerada neste trabalho é a construção de 91 m² de paredes estruturais, com base na habitação de taipa. As propriedades dos sistemas construtivos considerados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Propriedades dos sistemas construtivos

SISTEMA CONSTRUTIVO	DIMENSÕES (cm)	ESPESSURA (cm)	RESISTÊNCIA (MPa)	FONTE
Taipa mecanizada	N.A.	21 - 24	2,54 – 4,31	MILANI et al, 2014
Bloco cerâmico furado	14 x 19 x 39	14	4,5	ANICER, 2012; NASCIMENTO, 2002
Bloco de concreto	14 x 19 x 39	14	4	ANICER, 2012; CBCS, 2014
Concreto moldado <i>in loco</i>	N.A.	12	20	ANICER, 2012; ABCP, 2008

Fonte: Autora (2017).

Segundo a ISO 14040 (ABNT, 2001), em estudos comparativos, os sistemas analisados devem possuir mesma unidade funcional e considerações equivalentes, como desempenho (estrutural, térmico, etc.), fronteiras dos sistemas, qualidade de dados, procedimentos de alocação, regras de decisão na avaliação de entradas e saídas e avaliação de impactos. A resistência da

parede em taipa foi tomada como base para a escolha das demais alternativas, que deveriam ter resistência entre 2,54 e 4,31 MPa, no mínimo. Como apresentado na Tabela 13, as paredes não necessitam ter a mesma espessura para possuir função estrutural e resistência semelhantes.

As dimensões dos blocos (14x19x39cm) foram utilizadas para o cálculo da quantidade de blocos utilizados na parede, tomando como base os 91 m² de paredes, e a partir daí foi feito o cálculo da quantidade de matérias-primas utilizadas para a produção desses blocos.

4.2 Análise de inventário

4.2.1 Coleta de dados para elaboração do ICV

Antes de iniciar a elaboração do inventário propriamente dito, foi feita coleta de dados para os fatores de energia e emissões incorporadas relativas aos materiais, e aos combustíveis utilizados ao longo do ciclo de vida de cada sistema de parede estudado. Também foram tomadas as distâncias entre o local da obra e as fábricas e jazidas consideradas.

Uma limitação encontrada foi com relação à grande quantidade de dados necessários e à pouca acessibilidade. Como visto em diversas bibliografias, o banco de dados para países em desenvolvimento ainda é pobre e limitado. Sempre que possível, os dados foram coletados em bibliografias nacionais, e quando isso não era possível, foram utilizados dados internacionais referenciados em trabalhos brasileiros.

Para a quantificação de materiais consumidos e para o cálculo dos pesos dos produtos, utilizados para quantificar o consumo de combustível nas fases de transporte, foi necessário definir as densidades dos materiais, que são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Densidade dos materiais

MATERIAL	DENSIDADE	FONTE
Areia	1.460 kg/m ³	ERTCON, PIRAMIDE,2014 apud CBCS,2014
Argila	1.700 kg/m ³	GODOY, 1972
Brita	1,57 t/m ³	SINDIBRITA, 2014 apud CBCS,2014
Cimento CP II	1.400 kg/m ³	
Solo Arenoso	1.700 kg/m ³	OPERATION,2016
Cal Hidratada	1.700 kg/m ³	
Aditivo Plastificante	1,12 g/cm ³	VEDACIT,2016
Lenha	390 kg/m ³	PEREIRA,2003
Óleo Diesel	0,84 kg/L	
Gás Natural	0,74 kg/m ³	BEN, 2014
Óleo pesado	1 kg/L	
Óleo leve	0,87 kg/L	SAWAKI,2003
Concreto Seco	2.500 kg/m ³	
Concreto Fresco	2.380 kg/m ³	ANICER, 2012

Fonte: Autora (2017).

Para os combustíveis fósseis foram coletados dados relativos à energia e emissões incorporadas no processo de produção e refino dos combustíveis, e à combustão desses combustíveis. Para a lenha foram considerados apenas dados da sua combustão, pois não foram encontrados dados relativos à energia e a emissões incorporadas ao longo do ciclo de vida da lenha. Para a energia elétrica foram coletados dados relativos à energia e a emissões incorporadas na geração da energia elétrica. Os procedimentos de cálculo e os fatores de energia e emissão dos insumos energéticos são apresentados no APÊNDICE A.

Para a energia e a emissões do solo, da argila e da areia foi considerado o consumo de diesel durante a fase de extração dessas matérias primas. Para os demais produtos a energia e emissão estão relacionadas apenas a produção destes, não sendo consideradas as fases de extração das matérias primas para esses produtos. Os procedimentos de cálculo e os fatores de energia e emissão dos insumos materiais são apresentados no APÊNDICE B.

4.2.2 Considerações sobre os equipamentos e veículos

Caminhão de carga e caminhão basculante:

Para o cálculo do consumo de combustível foram utilizados dados de Campos E. (2012), que fez o levantamento da emissão de CO₂ da madeira serrada da Amazônia, e por meio de pesquisas das frotas de caminhão brasileiras estabeleceu uma faixa para o consumo de combustível de 0,006 a 0,022 l /t.km. Segundo o autor, essa ampla faixa de consumo foi adotada com o objetivo de incorporar diversas características de trajeto e veículos existentes no transporte da madeira no País. As informações sobre o peso e a capacidade de carga dos caminhões, foram levantadas em manuais técnicos da Ford, Volkswagen e Volvo, considerando-se caminhões de 23 PBT, e capacidade de carga de 15 toneladas.

Caminhão betoneira com bomba de concreto:

Para a produção do concreto fresco foi adotado um caminhão betoneira de 300 HP, em que o consumo de diesel é de 21,5 kg/h, levando duas horas para concretar 6m³ de concreto, conforme ANICER (2012). A fase de transporte foi calculada considerando-se o mesmo consumo de combustível que o caminhão de carga. Foi considerado um caminhão betoneira, que vazio pesa cerca de 11,2t e tem capacidade de carga de 18,8 t (ABESC, s.d).

Compressor de ar, betoneira estacionária e compactador pneumático:

Para o cálculo do consumo de energia, na fase de construção das paredes de taipa, foram registradas as potências da betoneira utilizada para a mistura da massa de taipa, e do compressor de ar, utilizado para alimentar o compactador pneumático.

Tabela 15. Dados dos equipamentos

EQUIPAMENTO	POTENCIA (W)	CONSUMO (KW)
Compressor de ar	3800	3,8
Betoneira estacionária	2200	2,2

Fonte: Autora (2017).

Betoneira para mistura da argamassa:

Para o cálculo da energia consumida pela betoneira, para a mistura da argamassa, foram coletados dados em manuais técnicos, considerando a capacidade do tambor de 400 litros (MENEGOTTI, 2016; CSM, 2016; HORBACH, 2016). A produção horária foi calculada considerando-se a quantidade de ciclos, por hora (entre 12 e 15), e a carga máxima de trabalho (entre 280 e 310), encontrando-se uma média de 4m³/h de argamassa produzida. A potência do motor é de 2200 Watts.

4.2.3 Jazidas e fábricas consideradas

Para o cálculo da energia e emissões incorporadas no transporte das matérias-primas e produtos, foi preciso definir as distâncias entre os pontos de partida (fábrica, jazida) até o local de implantação do edifício (obra). As distâncias foram definidas considerando-se as menores distâncias até a obra, com base na ferramenta *on-line Google Maps*. É preciso citar que com exceção da jazida de solo, que tem sua localização conhecida, todos os outros locais foram definidos de forma hipotética, podendo não corresponder à realidade.

Outra medida tomada foi com relação ao transporte da microfibrilha de polipropileno. O produto foi importado da China, mas durante os primeiros cálculos surgiram problemas relativos à escala, devido ao elevado consumo de combustível dos navios cerca de 4.995 toneladas de óleo Bunker (PSARAFTIS; KONTOVAS, 2008, MC. KINNON, 2011 e KRISTENSENK, 2013), entre 6 mil e 32 mil vezes mais elevado que o consumo de combustível das outras paredes, gerando indicadores extremamente elevados, comparados aos resultados dos outros produtos. Como os outros sistemas construtivos também podem ter importação de produtos (mas que não foram incluídos), e também com o propósito de não

ignorar as informações obtidas, optou-se por adotar o transporte por caminhão e a distância do Porto de Santos até o local da obra, equilibrando a escala dos dados obtidos.

Tabela 16. Distâncias consideradas

REGIÃO	PONTO DE PARTIDA	PONTO DE CHEGADA	DISTÂNCIA (km)
MS	Jazida solo	Obra	20
	Jazida de argila	Olaria de blocos cerâmicos	5
	Olaria blocos cerâmicos	Obra	35,5
		Obra	289
	Fábrica cimento	Fábrica blocos de concreto	292
		Usina concreto	297
	Fábrica blocos de concreto	Obra	20
	Usina concreto	Obra	8,6
	Jazida brita	Fábrica blocos de concreto	19,4
		Usina de concreto	22,4
		Obra	18,5
		Fábrica blocos concreto	32
	Jazida areia	Usina concreto	18,6
Jazida/ Fábrica cal		Obra	352
MG	Siderúrgica	Obra	1.158
	Fábrica aditivo plastificante	Obra	1.007
SP	Porto de Santos - Importação microfibras de polipropileno	Obra	1.091

Fonte: Google Maps.

Como dito anteriormente, para o cálculo do consumo de combustível para transporte por caminhão foi considerada a faixa de 0,006 a 0,022 l /t.km (CAMPOS E., 2012). Dessa forma, o consumo de combustível foi calculado seguindo a equação (3):

$$\text{Consumo} = (\text{peso transportado} + \text{peso caminhão}) \times \text{distância} \times \text{faixa de consumo} \quad (3)$$

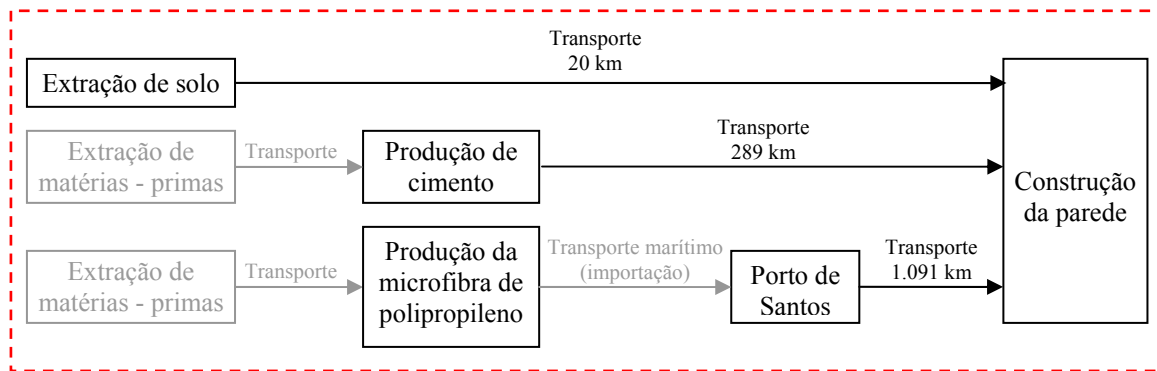
Considerou-se o transporte do caminhão carregado até o local da obra, e o retorno do caminhão vazio até a sua origem.

4.2.4 Elaboração do ICV das paredes de taipa mecanizada

As quantificações de materiais utilizados na execução das paredes de taipa foram feitas com base em seu volume total, após levantamento das medidas *in loco* do edifício existente, transferência para o Autocad e cálculo do volume em m³.

Os limites do sistema para as paredes de taipa estão definidos de forma genérica na Figura 18. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 18. Fronteiras do sistema de paredes de taipa



Fonte: Autora (2017).

4.2.4.1 Quantificação dos materiais

Como durante o processo de construção não foram registradas as quantidades de materiais utilizados, estes foram calculados com base no volume e na área das paredes, obtida a partir de medições *in loco*, em informações fornecidas pela equipe técnica e em notas fiscais. As paredes executadas possuem um volume de 20,657m³ e área das faces de 176,95m² (áreas externa 91m² e interna 85,95m²).

Para o cálculo das quantidades de solo, cimento, microfibra de polipropileno e água, foi necessário descobrir o volume da mistura de taipa solta existente nas paredes. Adotou-se o fator de compactação de 1,8, portanto, o volume de massa solta é de 37,18 m³ e com esse valor as quantidades de materiais foram estimados com base nos dados descritos anteriormente.

Para as quantidades de solo e cimento foi considerado o traço de 1:12 e as densidades dos materiais (Tabela 14); a microfibra de polipropileno corresponde a 1,4% da massa do cimento, e a quantidade de água foi de um balde para cada doze baldes de solo, cerca de 76,92 litros/m³ de massa de taipa. De acordo com as notas fiscais foram comprados 65 sacos (3.250kg) de cimento CP II-F 32, e o restante foi em cimento CP II-E 32. As quantidades de materiais calculadas são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Quantificação das matérias-primas da parede de taipa

MATERIA PRIMA	QUANTIDADE
Solo Arenoso	58.348,08 kg
Cimento CP II-F 32	3.250 kg
Cimento CP II-E 32	754,28 kg
Microfibra de polipropileno	56,06 kg
Água	2.2860,09 litros

Fonte: Autora (2017).

4.2.4.2 Cálculos para elaboração do ICV

Os valores do consumo de energia e combustível, e de emissões, foram feitos para as etapas de extração das matérias-primas, produção de produtos, transporte de materiais e execução das paredes.

- 1. Fase de extração dos produtos:** são considerados dados relativos à extração do solo arenoso. Todo o solo necessário para a execução das paredes foi adquirido de uma jazida localizada a cerca de 20 km do local. A extração do solo foi feita por pá-carregadeira e transportado até a obra por caminhão basculante. Multiplicou-se a quantidade de solo arenoso de 58,35 toneladas pelos valores para emissão de solo arenoso apresentado na Tabela A.2. Não foi considerada a extração das matérias-primas para produção de cimento e da microfibras de polipropileno. Sendo, para esses, considerados apenas valores relativos ao processo de produção.
- 2. Fase de produção dos produtos:** consideram-se dados relativos à produção do cimento e da microfibras de polipropileno. Para o cálculo da energia incorporada e emissões relativas à produção do cimento e da microfibras de polipropileno, foram consideradas as suas quantidades em toneladas e multiplicadas pelos valores da Tabela B.9 e Tabela B.12, respectivamente.
- 3. Fase de transporte dos produtos:** refere-se à soma de combustível consumido pelo transporte de todos os produtos, em todas as fases do ciclo consideradas, ou seja, transporte da jazida de solo até a obra e transporte da fábrica de cimento até a obra. A microfibras de polipropileno é importada, e chega por navios cargueiros. Considerou-se a distância do Porto de Santos até o local da obra, e o transporte foi feito por caminhão. Os cálculos para o consumo de combustível foi feito conforme apresentado no item 4.2.2. Os resultados são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Consumo de combustível para transporte - parede de taipa

PRODUTO	QUANTIDADE (t)	DISTANCIA (Km)	CONSUMO DE DIESEL Min – Max (L)
Arenito	58,35	20	14,88 – 54,56
Cimento	4,00	289	34,69 – 127,19
Microfibras de polipropileno	0,056	1.091	105,10 - 385,38
TOTAL			154,67 – 567,12

Fonte: Autora (2017).

- 4. Fase de execução das paredes:** considerou-se os processamentos em obra, ou seja, mistura da massa de taipa e construção das paredes. A construção das paredes foi feita de forma mecanizada, utilizando-se de betoneira para mistura e homogeneização da massa, e

um compactador pneumático para apiloar as camadas lançadas nas formas. Depois de pronta, o topo das paredes foi desbastado com a utilização de uma serra mármore. O compactador pneumático foi alimentado por um compressor de ar e os demais equipamentos foram ligados à rede elétrica local.

Durante o processo de construção do protótipo não foram registrados os tempos de funcionamento dos equipamentos, sendo que estes foram coletados durante o curso de capacitação oferecido pela UFMS, instruído pela mesma equipe técnica responsável pelo protótipo. Como os alunos não participaram da obra original, o ritmo de produção pode ter sido diferente, porém, tais dados foram considerados como base. Foi cronometrado o tempo de funcionamento dos equipamentos utilizados, para depois serem analisados junto às potências dos equipamentos, coletados *in loco* e em manuais técnicos. Não foi registrado o período de uso da serra mármore durante o curso, portanto, o equipamento foi desconsiderado.

Durante o curso foi confeccionada uma parede com sete camadas de terra. Foi cronometrado o tempo de utilização da betoneira para apenas três misturas de massa (Tabela 19), devido à dificuldade de acompanhar simultaneamente a confecção das paredes e a produção da massa.

Tabela 19. Tempo de uso da betoneira

MISTURA	TEMPO
1	00:05:10:23
2	00:05:49:61
3	00:06:20:47

Fonte: A autora (2017).

Dos valores registrados, foi feita uma média que resultou em aproximadamente cinco minutos e 47 segundos (0,096h). O tempo médio de funcionamento da betoneira, para misturar todo o volume de massa produzida (37,18m³) para confecção das paredes, foi calculado da seguinte forma:

a) Dividiu-se o volume total pelo volume de uma camada 0,13m³ (1 balde de cimento e 12 baldes de terra, sendo o balde de 10L ou 0,01m³) para medir quantas vezes o processo foi repetido.

$$37,18 / 0,13 = 286 \text{ vezes; e}$$

b) Multiplica-se o tempo de cinco minutos e 47 segundos pelo valor encontrado

$$0,096 \text{ h} \times 286 = 27,46 \text{ h} = 27 \text{ h } 28 \text{ min}$$

A potência da betoneira é de 2,2kw, desta forma, o consumo de energia da betoneira foi de 60,412kwh, ou 217,48MJ.

Para cálculo do tempo de utilização do compactador pneumático, para cada camada foi cronometrado um tempo (Tabela 20), os valores das duas primeiras camadas foram desconsiderados devido a problemas técnicos, e à familiarização com o compactador pneumático, sendo desconsiderados os valores que destoaram do restante. Assim, foram seleccionados os períodos de tempo mais próximos, e foi feita uma média, que representa o período de tempo de funcionamento do compactador pneumático para a compactação de uma “massada”.

Tabela 20. Tempo de uso do compactador pneumático

CAMADA	TEMPO
1	-
2	-
3	00:06:03:15
4	00:04:15:48
5	00:04:28:68
6	00:04:58:01
7	00:06:33:06

Fonte: A autora (2017).

O tempo de funcionamento do compactador pneumático foi medido pela média dos valores destacados na tabela acima, e é de quatro minutos e 34 segundos (0,076h). Portanto, para calcular o tempo de funcionamento para compactar todo o volume de massa produzida (37,18m³) para confecção das paredes, multiplicou-se esse tempo pelas vezes em que esse procedimento se repete (calculado anteriormente):

$$0,076 \text{ h} \times 286 = 21,74\text{h} = 21\text{h } 44\text{min}$$

Como não foi registrado o tempo de funcionamento do compressor de ar, foi utilizado o tempo de uso do compactador pneumático, de 21h44min.

O cálculo para o consumo de energia elétrica pelo compressor de ar foi feito com base em Sá (2010) e Parker (2006). Considerou-se os seguintes dados:

- Potência nominal de 3,8kw;
- Funcionamento em carga / vazio - consumo em vazio representa 25% da potência nominal;
- Regime de intermitência de 30% (funcionamento em carga de 70%); e
- Tempo de funcionamento 21,74 horas.

$$\text{Potência média consumida pelo compressor} = (0,70 + 0,3 \times 0,25) \times 3,8 = 2,945\text{kw.}$$

$$\text{Energia elétrica consumida pelo compressor} = 2,945 \times 21,74 = 64,0243\text{kwh.}$$

Sendo assim, o consumo de energia do compressor de ar foi de 64,0243kwh ou 230,49MJ. Portanto, o consumo de energia elétrica para a construção das paredes de taipa é de 447,97MJ (217,48MJ da betoneira + 230,49MJ do compressor de ar). A energia consumida foi então multiplicada pelos valores apresentados na Tabela A.13.

4.2.4.3 Inventário das paredes de taipa

Após todos os cálculos de materiais e combustíveis apresentados anteriormente, cada um deles foi relacionado ao seu fator de consumo de energia e emissão específicos, apresentados nos Apêndices A e B, resultando no inventário apresentado na Tabela 21.

Tabela 21. ICV das paredes de taipa

(continua)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
EXTRAÇÃO	Solo arenoso	Quantidade consumida	Tonelada	58,35	-
		Energia	MJ	160,01	-
		CO ₂	g	31.460,00	-
		CH ₄	g	10,13	-
		MP	g	9,04	-
		NH ₃	g	0,000155	-
		N ₂ O	g	0,0051	-
		NO _x	g	164,13	-
		SO ₂	g	51,39	-
		SO _x	g	0,03	-
		H ₂ S	g	0,00081	-
		COVNM	g	3,70	-
		PRODUÇÃO	Cimento CP II-E	Quantidade consumida	Tonelada
Energia	MJ			1.407,99	2.436,91
CO ₂	g			238.448,65	412.699,59
MP	g			49,64	85,92
NO _x	g			684,20	1.184,19
SO _x	g			196,99	340,94
COV	g			10,36	17,93
Hg	g			0,004	0,006
Cimento CP II-F	Quantidade consumida		Tonelada	3,25	3,25
	Energia		MJ	10.033,35	10.500,02
	CO ₂		g	1.699.185,31	1.778.217,19
	MP		g	353,74	370,20
	NO _x		g	4.875,59	5.102,36
	SO _x		g	1.403,72	1.469,01
	COV		g	73,81	77,24
	Hg		g	0,026	0,028
Microfibra de polipropileno	Quantidade consumida		Tonelada	0,056	-
	Energia		MJ	26,84	-
	CO ₂		g	93.238,86	-
	NO _x		g	184,27	-
	MP		g	33,30	-

Tabela 21. ICV das paredes de taipa

(conclusão)

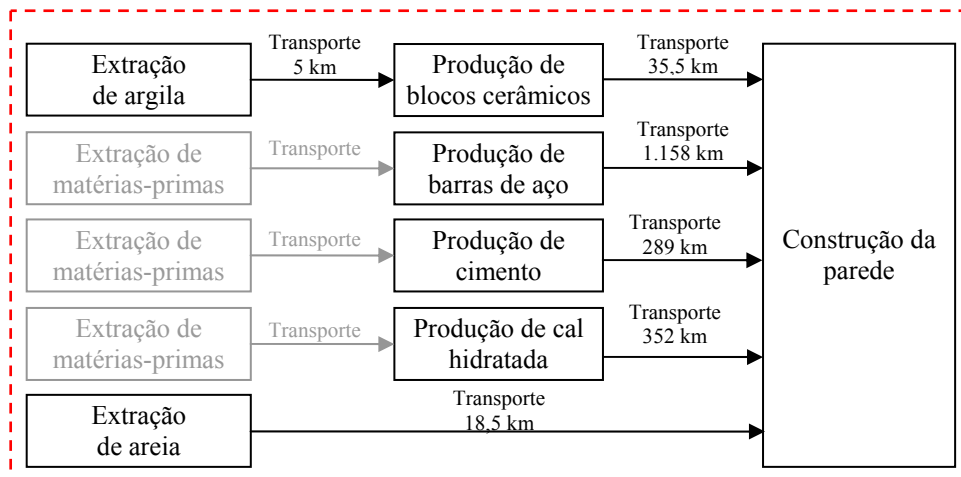
FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
TRANSPORTE	Diesel	Quantidade consumida	Litros	154,67	567,12
		Energia	MJ	5.763,48	21.132,75
		CO2	g	437.557,44	1.604.377,27
		CH4	g	396,46	1.453,68
		MP	g	28,00	102,66
		NH3	g	0,01	0,02
		N2O	g	15,96	58,53
		NOx	g	1.080,90	3.963,30
		SO2	g	166,46	610,35
		SOx	g	0,98	3,58
		H2S	g	0,03	0,11
		COVNM	g	133,29	488,71
CONSTRUÇÃO	Energia elétrica	Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	124,44 / (447,97)	-
		Energia	MJ	413,50	-
		CO2	g	8.752,46	-
		CH4	g	1,40	-
		N2O	g	0,17	-
		NOx	g	8,09	-
		COVNM	g	0,80	-
Água	Água	Litros	2.860,09	-	

Fonte: Autora (2017).

4.2.5 Elaboração de ICV das paredes de blocos cerâmicos furados

A quantificação de materiais para a construção das paredes em blocos cerâmicos foram feitas com base em bibliografia, tomando como base os 91m² de paredes. Também foram considerados os materiais relativos às argamassas de assentamento e revestimento. Os limites do sistema para as paredes em alvenaria de blocos cerâmicos furados estão definidos na Figura 19. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 19. Fronteiras do sistema das paredes de blocos cerâmicos furados



Fonte: Autora (2017).

4.2.5.1 Quantificação dos materiais

Primeiramente foi calculada a quantidade exata de blocos cerâmicos necessários para a construção da parede, e não foram consideradas perdas do produto ao longo do sistema. Com base na área construída das paredes de 91m², e considerando que as peças têm 14x19x39 (13 blocos por m²), seriam necessários 1.183 blocos.

Para a quantificação dos materiais utilizados para produção de blocos cerâmicos foram adotados dados da bibliografia. Quando as dimensões dos blocos eram diferentes (ex.:14x19x29, volume do bloco de 0,007714m³) considerou-se a mesma proporção de produtos para o volume de 0,010374m³ correspondente ao bloco de 14x19x39 . A Tabela 22 apresenta as informações dadas por cada fonte, e depois foi feita uma média aritmética, obtendo-se os valores considerados. Os valores mais divergentes foram desconsiderados.

Tabela 22. Dados para a quantificação de materiais para os blocos cerâmicos furados

FONTE	SOARES E PEREIRA		MASTELLA	SANSÃO	ANICER	MÉDIA
	2004*	6,81	2012**	2011	2012	
Peso (kg)	6,83	6,81	9,14	6,38	7,5	7,33
Argila (kg)	9,50	9,06	8,07	9,29	11,40	9,46
Água (litros)	0,02	0	2,02	1,28	0,00021	0,83
Energia elétrica (kWh)	0,08	0,93	0,89	N.I.	N.I.	0,63

N.I. Não informado
 * Calculado a partir de bloco de 19,5x17x12 e 23x17x11,8
 ** Calculado a partir de bloco de 14x19x29
 Desconsiderado

Fonte: Autora (2017).

Para a etapa de queima foi considerada a utilização de lenha, combustível mais utilizado pelas olarias do Brasil (ABDI, 2010). Segundo os autores pesquisados, o consumo de lenha é de 460kg para cada 1000 tijolos produzidos (CÓRDOVA, 2007; CAMARA, 2013).

De acordo com a ANICER (2012), na fase de construção da parede são utilizados cerca de 0,4 kg de hastes de aço para cada 13 blocos.

A argamassa é preparada em betoneiras misturando-se o cimento, cal hidratada e areia. Os traços considerados para as argamassas de assentamento e revestimento das paredes de blocos cerâmicos foram:

- Assentamento: 1:0.6:5; e
- Revestimento: chapisco de 5mm de 1:4; emboço de 20mm, externo 1:2:9, e interno 1:4; e reboco com 5mm de 1:4.

Para a quantidade de água foi considerado o valor de 0,048 litros por kg de argamassa seca de assentamento, e 230 litros/m³ de mistura de argamassa para revestimento, sugerido pelo relatório da ANICER (2012).

Os blocos são assentados manualmente com a utilização de argamassa para assentamento. Foram calculados 0,47m³ de argamassa para assentamento, e para os revestimentos interno e externo o valor total foi de 5,31 m³. Com base nos volumes de argamassa, nos traços apresentados anteriormente e nas densidades dos materiais (Tabela 14), foram calculadas as quantidades de cimento, cal hidratada e areia necessárias para a produção das argamassas. Os resultados da quantificação de materiais são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Quantificação de materiais da parede de blocos cerâmicos furados

MATERIAL	QUANTIDADE
Blocos cerâmicos	1.183 blocos
Argila	11.191,18kg
Água	981,89 litros
Aço	36,40 kg
Argamassa de assentamento	0,47 m ³
Cimento	99,18 kg
Cal hidratada	72,26 kg
Areia	517,15 kg
Água	33,05 litros
Argamassas de revestimento	5,31 m ³
Cimento	460,06 kg
Cal hidratada	1.400,94
Areia	6067,47
Água	1.220,96

Fonte: Autora (2017).

4.2.5.2 Cálculos para elaboração do ICV

Os valores do consumo de energia, de combustível, e as emissões, foram feitas para as etapas de extração das matérias-primas, produção de produtos, transporte de materiais e execução das paredes.

- 1. Fase de extração:** considerou-se as quantidades totais de argila (11.191,18kg) e areia relativas às argamassas (6.584,62 kg), multiplicadas pelos valores apresentados na Tabela B.2 e Tabela B.3. Não foram consideradas a extração das matérias-primas para produção de cal hidratada, cimento, e aço, sendo considerados apenas valores relativos ao processo de produção.
- 2. Fase de produção dos materiais:** considera-se a energia e emissões incorporadas na etapa de produção do bloco cerâmico, do cimento, da cal hidratada, e do aço.

Para a fabricação dos blocos cerâmicos, a preparação da massa é feita com pá-carregadeira e a mistura é mecanizada, nessa etapa são consumidas cerca de 0,0032 litros de diesel por bloco (ANICER, 2012). A modelagem do bloco é feita utilizando-se diversos equipamentos elétricos e trabalho manual, conforme as bibliografias consultadas são consumidos cerca de 0,63kWh/ bloco. Por último, na etapa de queima dos blocos são consumidos 0,46kg de lenha por tijolo, portanto, foram consumidos 544,18kg de lenha.

Para a energia utilizada na produção do aço, do cimento e da cal, foram utilizados os dados das tabelas respectivas para cada produto presentes no APÊNDICE B.

3. Fase de transporte dos materiais: refere-se à soma de combustível consumido pelo transporte de todos os produtos, em todas as fases do ciclo de vida consideradas, ou seja, transporte da jazida de argila até a fábrica de blocos, da jazida de areia até a obra; do transporte dos blocos até a obra; e do transporte das fábricas de cimento, de cal e de aço até a obra. Não foram consideradas as distâncias do transporte da lenha até a fábrica de blocos, pois ela é adquirida em diversos fornecedores, sendo difícil a sua localização. Os cálculos do consumo de combustível foram feitos conforme item 4.2.2, e os resultados são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24. Consumo de combustível para transporte - parede de blocos cerâmicos furados

PRODUTO	QUANTIDADE (t)	DISTANCIA (Km)	CONSUMO DE DIESEL Min – Max (L)
Argila	11,19	5	0,48 – 1,76
Blocos Cerâmicos	8,67 (1.183 x 7,33 kg)	35,5	5,26 – 19,27
Aço	0,036	1158	111,42 – 408,54
Cimento	0,56	289	28,71 – 105,28
Cal Hidratada	1,47	352	36,90 – 135,31
Areia	6,58	18,5	2,51 – 9,19
Total			185,28- 679,36

Fonte: Autora (2017).

4. Fase de construção: refere-se a energia consumida pela betoneira para a mistura da argamassa. A produção horária da betoneira é de 4m³/h e a potência do motor é de 2200 Watts. Para produzir 5,78 m³ de argamassa são necessárias 1,45 horas, ou seja, são consumidos 3,18 KWh.

4.2.5.3 Inventário das paredes de blocos cerâmicos furados

Depois de todos os cálculos de materiais e combustíveis apresentados anteriormente, cada um deles foi relacionado ao seu fator de consumo de energia e emissão específicos, apresentados nos Apêndices A e B, resultando no inventário apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. ICV das paredes de blocos cerâmicos furados

(continua)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAIDA	UNIDADE	FATORES		
				Mínimo	Máximo	
EXTRAÇÃO	Argila (bloco)	Quantidade consumida	Tonelada	11,19	-	
		Energia	MJ	22,10	-	
		CO ₂	g	4.345,49	-	
		CH ₄	g	1,40	-	
		MP	g	1,25	-	
		NH ₂	g	0,000021	-	
		N ₂ O	g	0,0007	-	
		NOx	g	22,67	-	
		SO ₂	g	7,10	-	
		SOx	g	0,004	-	
		H ₂ S	g	0,00011	-	
	COVNM	g	0,51	-		
	Areia (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	6,58	-	
		Energia	MJ	566,79	-	
		CO ₂	g	111.437,08	-	
		CH ₄	g	35,89	-	
		MP	g	32,03	-	
		NH ₃	g	0,0005	-	
		N ₂ O	g	0,018	-	
		NOx	g	581,37	-	
SO ₂		g	182,04	-		
SOx		g	0,096	-		
H ₂ S		g	0,0029	-		
COVNM	g	13,11	-			
PRODUÇÃO	Diesel (Preparo da massa argila+ água)	Quantidade consumida	Litros	3,79	-	
		Energia	MJ	141,06	-	
		CO ₂	g	27.734,61	-	
		CH ₄	g	8,93	-	
		MP	g	7,97	-	
		NH ₃	g	0,00014	-	
		N ₂ O	g	0,0045	-	
		NOx	g	144,69	-	
		SO ₂	g	45,31	-	
		SOx	g	0,02	-	
		H ₂ S	g	0,0007	-	
	COVNM	g	3,26	-		
	Energia elétrica (bloco)	Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	745,29/ (2.683,04)	-	
		Energia	MJ	2.476,60	-	
		CO ₂	g	52.421,37	-	
		CH ₄	g	8,40	-	
		N ₂ O	g	1,03	-	
		NOx	g	355,16	-	
		COVNM	g	4,81	-	
	Água (bloco)	Água	Litros	981,89	-	
Lenha - Queima	Quantidade consumida	Toneladas	0,54	-		
	Energia	MJ	7.062,96	-		
	CO ₂	g	787.646,13	-		
	SOx	g	76,19	-		
	NOx	g	408,14	-		
			MP	g	1.703,28	-

Tabela 25. ICV das paredes de blocos cerâmicos furados

(conclusão)

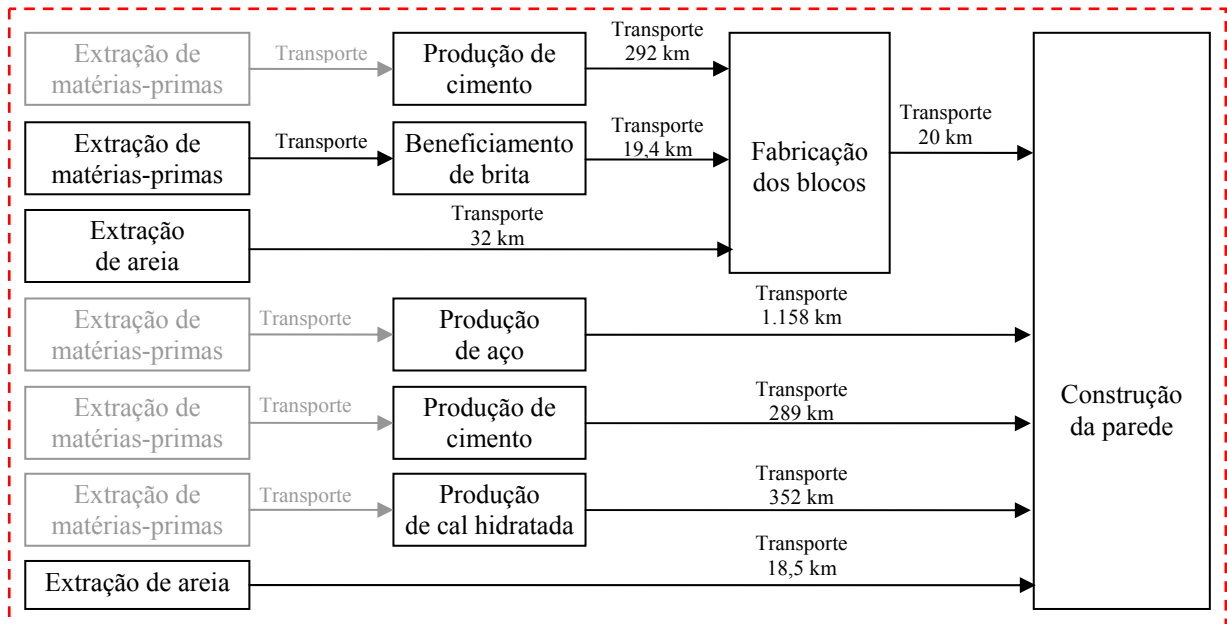
FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAIDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
PRODUÇÃO	Aço	Quantidade consumida	Tonelada	0,036	-
		Energia	MJ	728,00	-
		CO ₂	g	61.880,00	-
		NO _x	g	44,77	-
		SO _x	g	76,08	-
		MP	g	28,39	-
	Cimento CP II F (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	0,56	0,56
		Energia	MJ	1.726,48	1.806,79
		CO ₂	g	292.386,56	305.985,93
		MP	g	60,87	63,70
		NO _x	g	838,96	877,99
		SO _x	g	241,54	252,78
		COV	g	12,70	13,29
		Hg	g	0,0045	0,0047
	Cal hidratada (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	1,47	1,47
		Energia	MJ	7.812,38	8.632,96
		CO ₂	g	1.205.078,12	1.941.678,43
		MP	g	3,68	920,75
		NO _x	g	368,30	1.915,16
		SO ₂	g	147,32	1.473,20
		HCl	g	0,074	920,750
TRANSPORTE	Diesel	Quantidade consumida	Litros	185,28	679,36
		Energia	MJ	6.904,09	25.315,01
		CO ₂	g	524.151,77	1.921.889,84
		CH ₄	g	474,92	1.741,37
		MP	g	33,54	122,98
		NH ₃	g	0,0067	0,0245
		N ₂ O	g	19,12	70,11
		NO _x	g	1.294,82	4.747,66
		SO ₂	g	199,40	731,14
		SO _x	g	1,17	4,29
		H ₂ S	g	0,037	0,14
		COVNM	g	159,66	585,43
CONSTRUÇÃO	Energia elétrica	Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	3,18/ (11,44)	-
		Energia	MJ	10,56	-
		CO ₂	g	223,45	-
		CH ₄	g	0,036	-
		N ₂ O	g	0,0044	-
		NO _x	g	1,51	-
		COVNM	g	0,021	-
	Água (argamassa)	Água	Litros	1.254,01	-

Fonte: Autora (2017).

4.2.6 Elaboração do ICV das paredes de blocos de concreto

A quantificação de materiais para a construção das paredes de blocos de concreto foi feita com base em bibliografia, considerando os 91m² de paredes. Também foram considerados os materiais para as argamassas de assentamento e revestimento. Os limites do sistema estão definidos na Figura 20. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo deste trabalho.

Figura 20. Fronteiras do sistema das paredes de blocos de concreto



Fonte: Autora (2017)

4.2.6.1 Quantificação dos materiais

A quantidade de blocos foi calculada com base na área construída das paredes de 91 m², e no tamanho das peças 14 x 19 x 39 (13 blocos por m²), foram necessários 1.183 blocos. Para a quantificação dos materiais utilizados na fabricação dos blocos foram coletados valores em referência bibliográfica para blocos estruturais com as medidas 14x19x39, quando o peso não foi informado considerou-se 12,5 kg para o bloco, peso médio (CBCS, 2014).

A Tabela 26 apresenta as informações dadas por cada fonte, e depois foi feita uma média aritmética, obtendo-se os valores considerados. Os valores mais divergentes foram desconsiderados.

Tabela 26. Dados para a quantificação de materiais para os blocos de concreto

FONTE	CAMPOS F.H.A., 2012	ROSA, 2010	FRASSON; OLIVEIRA; PRUDENCIO, 2010*	SANSÃO 2011	Média
Peso (kg)	12,5	13	12,5	9,44	11,86
Cimento (kg)	0,99	1,14	1,25	0,76	1,04
Areia (kg)	8,54	9,12	7,88	5,28	7,71
Brita (kg)	3,54	2,74	3,38	2,84	3,13
Água (litros)	0,54	N.I.	0,85	0,57	0,65
Energia elétrica (kWh)	0,000025	0,1383	N.I.	0,059	0,10
N.I.	Não informado				
*	Traço 1:9, 70% de agregados miúdos; 30% de agregados graúdos; e umidade ótima de 6,83%				
	Desconsiderado				

Fonte: Autora (2017).

De acordo com a ANICER (2012), na fase de construção da parede são utilizados cerca de 0,4 kg de aço para cada 13 blocos.

A argamassa é preparada em betoneiras misturando-se o cimento, cal hidratada e areia. Os traços considerados para as argamassas de assentamento e revestimento das paredes de blocos de concreto foram:

- Assentamento: 1:0.6:5; e
- Revestimento: chapisco de 5mm de 1:3; emboço de 20mm externo 1:2:9, e interno 1:4; e reboco com 5mm de 1:4.

Para a quantidade de água foi considerado 0,048 litros por kg de argamassa seca de assentamento, e 230 litros/m³ de mistura de argamassa para revestimento, sugerido pelo relatório da ANICER (2012).

Os blocos são assentados manualmente com a utilização de argamassa para assentamento. Foram calculados 0,47m³ de argamassa para assentamento, e para os revestimentos interno e externo os valores totais são de 5,31m³. Com base nos volumes de argamassa, nos traços apresentados anteriormente e nas densidades dos materiais (Tabela 14), foram calculadas as quantidades de cimento, cal hidratada e areia necessárias para a produção das argamassas. Os resultados da quantificação de materiais são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Quantificação dos materiais da parede em blocos de concreto

MATERIAL	QUANTIDADE
Blocos de concreto	1.183 blocos
Cimento	1.230,32 kg
Areia	9.120,93 kg
Brita 0	3.702,79 kg
Água	768,95 litros
Aço	36,40 kg
Argamassa de Assentamento	0,47 m³
Cimento	99,18 kg
Cal hidratada	72,26 kg
Areia	517,15 kg
Água	33,05 litros
Argamassas de revestimento	5,31 m³
Cimento	522,00 kg
Cal hidratada	1.400,94 kg
Areia	6.002,88 kg
Água	1.220,96

Fonte: A autora (2017).

4.2.6.2 Cálculos para elaboração do ICV

1. **Fase de extração:** foram considerados a energia e emissões incorporados na extração e beneficiamento da areia, utilizadas para a produção do bloco e da argamassa, e extração e beneficiamento da brita utilizada na produção do bloco. As quantidades de

areia e brita foram multiplicadas pelos valores da Tabela B.3 e Tabela B.4, respectivamente. Não foi considerada a extração das matérias-primas para produção de cal hidratada, do cimento e do aço. Sendo para esses, considerados apenas valores relativos ao processo de produção.

2. **Fase de produção dos materiais:** considerou-se a produção do cimento, utilizado para a produção do bloco e da argamassa; a produção da cal hidratada, a produção do bloco de concreto e do aço. Para a fabricação dos blocos de concreto, a mistura é mecanizada, e são consumidos cerca de 0,0064 litros de diesel/bloco (ANICER, 2012). Portanto, foram consumidos 7,57 litros de diesel. Os equipamentos também consomem energia elétrica, conforme as bibliografias consultadas, são consumidos cerca de 0,10 kWh/ bloco. Por fim, os blocos secam ao ar livre. Para a energia e emissões incorporadas na produção do aço, do cimento, da cal e da areia, foram utilizados os dados das tabelas respectivas para cada produto presentes no APÊNDICE B.
3. **Fase de transporte dos materiais:** refere-se à soma de combustível consumido pelo transporte de todos os produtos, em todas as fases do ciclo consideradas, ou seja, transporte da jazida de areia e da jazida de brita até a fábrica de blocos, e da fábrica de cimento até a fábrica de blocos; transporte dos blocos até a obra; e do e transporte da jazida de areia, da fábrica de cimento, da fábrica de cal e da fábrica de aço até a obra. O cálculo do consumo de combustível foi feito conforme item 4.2.2., e os resultados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28. Consumo de combustível para transporte - parede de blocos de concreto

PRODUTO	QUANTIDADE	DISTANCIA	CONSUMO DE DIESEL
	(t)	(Km)	Min – Max (L)
Cimento	1,23	292	30,19 - 110,69
Areia	9,12	32	4,82 - 17,69
Brita 0	3,70	19,40	2,29 - 8,41
Blocos de Concreto	14,03 (1.183 x 11,86 kg)	20	3,60- 13,21
Aço	0,036	1158	111,42 - 408,54
Cimento	0,62	289	28,82 – 105,68
Cal Hidratada	1,47	352	36,90 – 135,31
Areia	6,52	18,5	2,50 - 9,17
Total			220,55 – 808,69

Fonte: Autora (2017).

4. **Fase de construção:** refere-se a energia consumida pela betoneira para a mistura da argamassa. A produção horária é de 4m³/h e a potencia do motor é de 2200 Watts. Para produzir 5,78 m³ de argamassa são necessárias 1,45 horas, sendo consumidos 3,18 KWh.

4.2.6.3 Inventário das paredes de blocos de concreto

Após todos os cálculos de materiais e combustíveis apresentados anteriormente, cada um deles foi relacionado ao seu fator de consumo de energia e emissão específicos, apresentados nos Apêndices A e B, resultando no inventário apresentado na Tabela 29.

Tabela 29. ICV das paredes de blocos de concreto

(continua)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAIDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
EXTRAÇÃO	Areia (bloco)	Quantidade consumida	Tonelada	9,12	-
		Energia	MJ	785,11	-
		CO ₂	g	154.361,30	-
		CH ₄	g	49,71	-
		MP	g	44,37	-
		NH ₃	g	0,0008	-
		N ₂ O	g	0,025	-
		NO _x	g	805,30	-
		SO ₂	g	252,15	-
		SO _x	g	0,13	-
		H ₂ S	g	0,004	-
		COVNM	g	18,16	-
	Areia (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	6,52	-
		Energia	MJ	561,23	-
		CO ₂	g	110.344,02	-
		CH ₄	g	35,53	-
		MP	g	31,72	-
		NH ₃	g	0,00054	-
		N ₂ O	g	0,018	-
		NO _x	g	575,67	-
		SO ₂	g	180,25	-
		SO _x	g	0,095	-
		H ₂ S	g	0,0028	-
		COVNM	g	12,98	-
	Brita (bloco)	Quantidade consumida	Tonelada	3,70	-
		Energia	MJ	101,32	-
		N	g	0,59	-
		CO ₂	g	2.281,97	-
		CH ₄	g	0,15	-
		NO _x	g	63,20	-
		N ₂ O	g	0,018	-
		MP	g	0,29	-
		HCl	g	0,011	-
HF		g	0,0014	-	
NH ₃		g	0,0000001	-	
SO _x		g	3,19	-	
COVNM	g	11,99	-		
PRODUÇÃO	Cimento CP V (bloco)	Quantidade consumida	Tonelada	1,23	1,23
		Energia	MJ	4.019,05	4.239,88
		CO ₂	g	680.641,48	718.039,36
		MP	g	141,70	149,48
		NO _x	g	1.953,01	2.060,32
		SO _x	g	562,29	593,18
		COV	g	29,56	31,19
		Hg	g	0,0105	0,0111

Tabela 29 . ICV das paredes de blocos de concreto

(continuação)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAIDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
PRODUÇÃO	Água (bloco)	Água	Litros	768,95	-
		Quantidade consumida	Litros	7,57	-
	Diesel – Produção do bloco	Energia	MJ	282,13	-
		CO ₂	g	55.469,22	-
		CH ₄	g	17,86	-
		MP	g	15,94	-
		NH ₃	g	0,00027	-
		N ₂ O	g	0,0091	-
		NOx	g	289,38	-
		SO ₂	g	90,61	-
		SOx	g	0,048	-
		H ₂ S	g	0,0014	-
		COVNM	g	6,52	-
		Energia elétrica - Moldagem	Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	118,30/ (425,88)
	Energia		MJ	393,11	-
	CO ₂		g	8.320,85	-
	CH ₄		g	1,33	-
	N ₂ O		g	0,16	-
	NOx		g	56,38	-
	COVNM		g	0,76	-
	Aço	Quantidade consumida	Tonelada	0,36	-
		Energia	MJ	728,00	-
		CO ₂	g	61.880,00	-
		NOx	g	44,77	-
		SOx	g	76,08	-
		MP	g	28,39	-
	Cimento CP II F (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	0,62	0,62
		Energia	MJ	1.917,68	2.006,88
		CO ₂	g	324.766,49	339.871,91
		MP	g	67,61	70,76
		NOx	g	931,87	975,22
		SOx	g	268,29	280,77
		COV	g	14,11	14,76
Hg		g	0,0050	0,0053	
Cal hidratada (argamassa)	Quantidade consumida	Tonelada	1,47	1,47	
	Energia	MJ	7812,38	8632,96	
	CO ₂	g	1.205.078,12	1.941.678,43	
	MP	g	3,68	920,75	
	NOx	g	368,30	1.915,16	
	SO ₂	g	147,32	1473,20	
	HCl	g	0,074	920,75	
TRANSPORTE	Diesel	Quantidade consumida	Litros	220,55	808,69
		Energia	MJ	8.218,46	30.134,35
		CO ₂	g	623.936,99	2.287.768,98
		CH ₄	g	565,33	2.072,88
		MP	g	39,92	146,39
		NH ₃	g	0,008	0,029
		N ₂ O	g	22,76	83,46
		NOx	g	1.541,32	5.651,49
		SO ₂	g	237,36	870,33
		SOx	g	1,39	5,11
		H ₂ S	g	0,04	0,16
		COVNM	g	190,06	696,88

Tabela 29 . ICV das paredes de blocos de concreto

(conclusão)

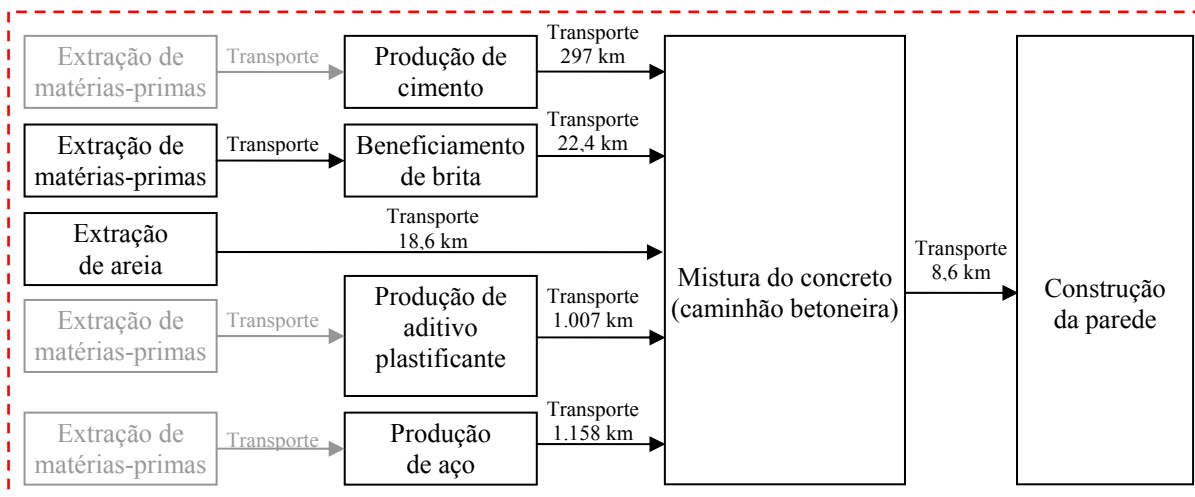
FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAIDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
CONSTRUÇÃO	Energia elétrica	Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	3,18/ (11,44)	-
		Energia	MJ	10,56	-
		CO ₂	g	223,45	-
		CH ₄	g	0,036	-
		N ₂ O	g	0,0044	-
		NO _x	g	1,51	-
		COVNM	g	0,021	-
	Água (argamassa)	Água	Litros	1.254,01	-

Fonte: Autora (2017).

4.2.7 Elaboração de inventário das paredes de concreto moldada *in loco*

A quantificação de materiais para a construção das paredes de concreto moldado *in loco*, foi feita com base em bibliografia tomando como referência os 91 m² de paredes. Os limites do sistema para as paredes de concreto moldado *in loco* estão definidos na Figura 21. Os elementos na cor cinza não fizeram parte do escopo considerado neste trabalho.

Figura 21. Fronteiras do sistema das paredes de concreto moldado *in loco*



Fonte : Autora (2017)

4.2.7.1 Quantificação dos materiais

De acordo com o relatório da ANICER (2012), são necessários 300kg de concreto seco para cada m² de parede. O protótipo possui 91m², sendo necessário 27.300kg de concreto, e considerando a densidade do concreto seco de 2500kg/m³, são necessários 10,92m³ de concreto. São necessários 9,48kg de armadura de aço por m² de parede. A

quantidade de materiais foi consultada em bibliografias, e foi feita uma média, conforme apresentado na Tabela 30. A quantificação dos materiais utilizados nas paredes de concreto moldado *in loco* é apresentada na Tabela 31.

Tabela 30. Dados para a quantificação de materiais para as paredes de concreto moldado *in loco*

FONTE	FOCHS, 2011		ANICER, 2012		CASTRO; SANTOS; ARAUJO, 2012 *		MÉDIA
Cimento (kg/m³)	361	384	416	450	330	388	388,17
Areia (kg/m³)	860	786	870	725	288,17	310,41	639,93
Brita (kg/m³)	1.018	1006	894	1.325	672,63	724,29	939,99
Água (litros/m³)	188	205	200	190	165	194	190,33
Aditivo (litros/m³)	2,2	2,4	2,5	4,03	NI	NI	2,78
N.I. Não informado							
* 34% a 36% de pasta (cimento+água); 330kg a 388kg de cimento, 70% ag. Graúdo/ miúdo; água/ cimento 0,5 a 0,55							

Fonte: A autora (2017).

Tabela 31. Quantificação dos materiais das paredes em concreto moldado *in loco*

MATERIAL	QUANTIDADE
Concreto seco:	27.300 kg (10,92 m³)
Cimento	4.238,82 kg
Areia	6.988,04 kg
Brita 0	10.264,69 kg
Água	2078,40 litros
Aditivo plastificante	34,00 litros
Aço	862,68 kg

Fonte: A autora (2017).

4.2.7.2 Cálculos para elaboração do ICV

1. **Fase de extração:** considerou-se a energia e emissões incorporadas na extração da areia e da brita, multiplicando-se as suas quantidades pelos valores da Tabela B.3 e Tabela B.4, respectivamente. Não foi considerada a extração das matérias-primas para produção de cimento, aço e aditivo plastificante sendo, para esses, considerados apenas valores relativos ao processo de produção.
2. **Fase de produção dos materiais:** considera a fabricação do cimento, a produção do concreto na central/ usina, a fabricação do aço e do aditivo plastificante. Para a produção do concreto fresco no caminhão betoneira, o relatório da ANICER (2012) fornece um valor total de 55,95MJ/m³ de concreto fresco (diesel 22,7MJ/m³; gás natural 1,16MJ/m³; óleo pesado 3,09MJ/m³; óleo leve 13,3MJ/m³; eletricidade 4,36kWh/m³). Para concretar os 91m² de parede são necessários 27.300kg de concreto seco e 2.078,40 litros de água, ou seja, 29.378,40kg de concreto fresco. A densidade do concreto fresco é de 2380kg/m³, e seriam necessários 12,34m³ de concreto.

- 3. Fase de transporte dos materiais:** refere-se à soma de combustível consumido pelo transporte de todos os produtos, ou seja, transporte da jazida de areia e de brita até a usina de concreto; da fábrica de cimento até a usina de concreto; transporte do concreto até a obra; e da fábrica de aditivo e de aço até a obra. Os cálculos para o consumo de combustível foram feitos conforme o item 4.2.2, e os resultados são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32. Consumo de combustível para transporte - paredes de concreto moldado *in loco*

PRODUTO	QUANTIDADE (t)	DISTÂNCIA (Km)	CONSUMO DE DIESEL	
			Min	Max (L)
Cimento	4,24	297	36,07	132,24
Areia	6,99	18,6	2,57	9,41
Brita 0	10,26	22,40	3,53	12,94
Concreto	29,38	8,6	5,41	19,82
Aditivo plastificante	0,034	1.007	96,88	355,22
Aço	0,86	1.158	117,16	429,59
Total			261,61	959,22

Fonte: Autora (2017).

- 4. Fase de construção das paredes:** Para a produção do concreto fresco foi adotado um caminhão betoneira de 300HP, com consumo de diesel de 21,5kg/h, levando duas horas para concretar 6m³ de concreto, conforme ANICER (2012). Para concretar 12,34m³ de parede seriam necessárias 4,11 horas de serviço, consumindo 88,44kg de diesel, ou 105,31 litros (densidade do diesel de 0,84kg/litro).

4.2.7.3 Inventário das paredes de concreto moldado *in loco*

Depois dos cálculos de materiais e combustíveis apresentados anteriormente, cada um deles foi relacionado ao seu fator de consumo de energia e emissão específicos, apresentados nos Apêndices A e B, resultando no inventário apresentado na Tabela 33.

Tabela 33. ICV das paredes de concreto moldado *in loco*

(continua)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
EXTRAÇÃO	Areia	Quantidade consumida	Tonelada	6,99	-
		Energia	MJ	601,51	-
		CO ₂	g	118.264,50	-
		CH ₄	g	38,08	-
		MP	g	33,99	-
		NH ₃	g	0,00058	-
		N ₂ O	g	0,019	-
		NOx	g	616,99	-
		SO ₂	g	193,19	-
		SOx	g	0,10	-
		H ₂ S	g	0,0030	-
		COVNM	g	13,91	-

Tabela 33. ICV das paredes de concreto moldado *in loco*

(continuação)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
Extração	Brita	Quantidade consumida	Tonelada	10,26	-
		Energia	MJ	280,89	-
		N	g	1,63	-
		CO ₂	g	6325,95	-
		CH ₄	g	0,41	-
		NO _x	g	175,19	-
		N ₂ O	g	0,05	-
		MP	g	0,80	-
		HCl	g	0,03	-
		HF	g	0,0038	-
		NH ₃	g	0,0000003	-
		SO _x	g	8,85	-
		COVNM	g	33,23	-
		PRODUÇÃO	Cimento CP V	Quantidade consumida	Tonelada
Energia	MJ			13.846,82	14.607,64
CO ₂	g			2.345.011,26	2.473.858,03
MP	g			488,19	515,02
NO _x	g			6.728,70	7.098,41
SO _x	g			1.937,24	2.043,69
COV	g			101,86	107,45
Hg	g			0,036	0,038
Aditivo plastificante	Quantidade consumida		Tonelada	0,034	-
	Energia		MJ	544,01	-
	CO ₂		g	23.460,35	-
	NO _x		g	119,00	-
	SO _x		g	224,40	-
Água	Água		Litros	2.078,40	-
Óleo diesel	Quantidade consumida		Litros	7,52	-
	Energia		MJ	280,21	-
	CO ₂		g	55.091,80	-
	CH ₄		g	17,74	-
	MP		g	15,83	-
	NH ₃		g	0,00027	-
	N ₂ O		g	0,009	-
	NO _x		g	287,41	-
	SO ₂		g	89,99	-
	SO _x		g	0,05	-
	H ₂ S		g	0,0014	-
	COVNM		g	6,48	-
Gás natural	Quantidade consumida		m ³	0,38	-
	Energia		MJ	14,32	-
	CO ₂		g	740,90	-
	N ₂ O		g	0,0136	-
	CH ₄		g	0,03	-
	THC		g	0,002	-
	VOC	g	0,08	-	
	SO ₂	g	0,004	-	
	MP _{2,5}	g	0,00017	-	
	MP ₁₀	g	0,00017	-	
	MP	g	0,05	-	
NO _x	g	0,65	-		

Tabela 33. ICV das paredes de concreto moldado *in loco*

(continuação)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
PRODUÇÃO	Óleo pesado	Quantidade consumida	Litros	0,84	-
		Energia	MJ	38,14	-
		CO ₂	gr	2.750,87	-
		CH ₄	gr	2,36	-
		MP	gr	1,38	-
		NH ₃	gr	0,00003	-
		N ₂ O	gr	0,05	-
		NOx	gr	6,89	-
		SO ₂	gr	16,95	-
		SOx	gr	0,21	-
		H ₂ S	gr	0,0002	-
		COVNM	gr	0,83	-
		Óleo leve	Quantidade consumida	Litros	3,75
	Energia		MJ	164,17	-
	CO ₂		gr	10.998,36	-
	CH ₄		gr	10,06	-
	MP		gr	1,46	-
	NH ₃		gr	0,00013	-
	N ₂ O		gr	0,12	-
	NOx		gr	14,85	-
	SO ₂		gr	68,50	-
	SOx		gr	0,93	-
	H ₂ S		gr	0,0008	-
	COVNM		gr	3,67	-
	Energia elétrica		Consumo de energia elétrica	KWh/ (MJ)	53,82/ (193,75)
		Energia	MJ	178,84	-
		CO ₂	gr	3.785,48	-
		CH ₄	gr	0,61	-
		N ₂ O	gr	0,07	-
		NOx	gr	25,65	-
		COVNM	gr	0,35	-
	Aço	Quantidade consumida	Tonelada	0,86	-
		Energia	MJ	17253,60	-
CO ₂		gr	1.466.556,00	-	
NOx		gr	1061,10	-	
SOx		gr	1803,00	-	
MP		gr	672,89	-	
TRANSPORTE	Diesel	Quantidade consumida	Litros	261,61	959,22
		Energia	MJ	9.748,21	35.743,43
		CO ₂	gr	740.074,17	2.713.605,30
		CH ₄	gr	670,56	2458,72
		MP	gr	47,36	173,64
		NH ₃	gr	0,0094	0,035
		N ₂ O	gr	27,00	98,99
		NOx	gr	1.828,21	6.703,43
		SO ₂	gr	281,54	1.032,33
		SOx	gr	1,65	6,06
		H ₂ S	gr	0,05	0,19
		COVNM	gr	225,44	826,60

Tabela 33. ICV das paredes de concreto moldado *in loco*

(conclusão)

FASE	PRODUTO	ENTRADA/ SAÍDA	UNIDADE	FATORES	
				Mínimo	Máximo
CONSTRUÇÃO	Diesel – caminhão betoneira	Quantidade consumida	Litros	105,31	-
		Energia	MJ	3.924,34	-
		CO ₂	g	771.572,02	-
		CH ₄	g	248,46	-
		MP	g	221,77	-
		NH ₃	g	0,0038	-
		N ₂ O	g	0,13	-
		NO _x	g	4025,30	-
		SO ₂	g	1.260,38	-
		SO _x	g	0,67	-
		H ₂ S	g	0,02	-
		COVNM	g	90,75	-

Fonte: Autora (2017).

4.3 Avaliação de impacto e interpretação

A etapa de avaliação de impacto foi feita para os três métodos escolhidos, ACV-m, IE4B e BEES. Os impactos foram calculados de acordo com os resultados dos inventários obtidos anteriormente. Por falta de dados não serão apresentados resultados relativos aos impactos de geração de resíduos, potencial de depleção da camada de ozônio, qualidade de ar interno, e alteração de habitat.

São apresentados os resultados das paredes para cada método, e o desempenho delas é comparado em cada categoria de impacto. Depois foi aplicado o método de pontuação apresentado no item 3.4 nos métodos ACV-m e IE4B, de forma a obter uma pontuação única para cada parede, possibilitando que elas fossem classificadas de 1º (menos impactante) a 4º (mais impactante). Por último, foram feitas recomendações para cada parede, analisando-se quais os materiais mais impactantes em cada uma delas.

4.3.1 Resultados da ACV-m

Os indicadores considerados na ACV-m foram a emissão de CO₂ incorporada; a energia incorporada; o consumo de água; e o consumo de matérias-primas. Para o indicador de consumo de matérias-primas foi feita análise comparativa com base na soma das matérias-primas em comum das quatro técnicas em estudo (cimento, agregados miúdos e agregados graúdos). A Tabela 34 apresenta os resultados do ACV-m de cada parede, para cada fase do ciclo de vida considerado (extração, produção, transporte e construção), assim como os valores totais para cada categoria de impacto.

Tabela 34. Resultados do ACV-m para cada parede

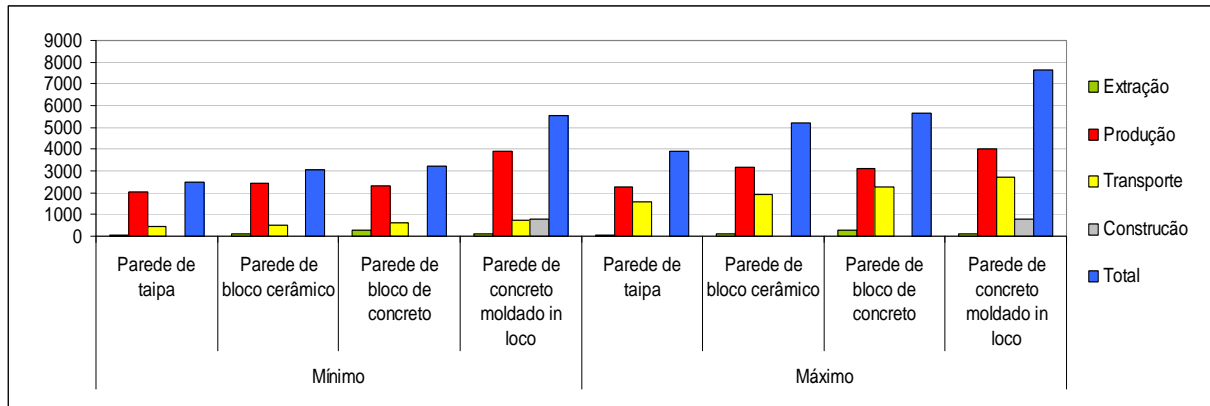
PAREDES DE TAIPA MECANIZADA					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Emissão de CO₂ incorporada (kgCO₂)	31,46	2.030,87- 2.284,16	437,56- 1604,38	8,75	2.508,64- 3.928,75
Energia incorporada (MJ)	160,01	11.468,19- 12.963,77	5.763,48- 21.132,75	861,47	18.253,15- 35.118,01
Consumo de água (L)	0	0	0	2.860,09	2.860,09
Consumo de matérias-primas (kg)	0	0	0	62.352,36	62.352,36
Cimento (kg)	0	0	0	4.004,28	4.004,28
Agregados miúdos (kg)	0	0	0	58.348,08	58.348,08
Agregados graúdos (kg)	0	0	0	0	0
PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Emissão de CO₂ incorporada (kgCO₂)	115,78	2.427,15- 3.177,35	524,15- 1.921,89	0,22	3.067,30- 5.215,24
Energia incorporada (MJ)	588,89	22.630,53- 23.531,40	6.904,09- 2.5315,01	21,99	30.145,50 49.457,29
Consumo de água (L)	0	981,89	0	1.254,01	2.235,90
Consumo de matérias-primas (kg)	0	11.191,18	0	7.143,86	18.335,04
Cimento (kg)	0	0	0	559,24	559,24
Agregados miúdos (kg)	0	11.191,18	0	6.584,62	17.775,80
Agregados graúdos (kg)	0	0	0	0	0
PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Emissão de CO₂ incorporada (kgCO₂)	266,99	2.336,16- 3.125,26	623,94- 2.287,77	0,22	3.227,30 - 5.680,24
Energia incorporada (MJ)	1.447,66	15.578,23- 16.708,83	8.218,46- 30.134,35	21,99	25.266,34- 48.312,82
Consumo de água (L)	0	768,95	0	1.254,01	2.022,96
Consumo de matérias-primas (kg)	0	14.054,04	0	7.141,20	21.195,24
Cimento (kg)	0	12.30,32	0	621,17	1.851,49
Agregados miúdos (kg)	0	9.120,93	0	6.520,03	15.640,96
Agregados graúdos (kg)	0	3.702,79	0	0	3.690,96
PAREDES DE CONCRETO MOLDADO <i>IN LOCO</i>					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Emissão de CO₂ incorporada (kgCO₂)	124,59	3.908,40- 4.037,24	740,07- 2.713,61	771,57	5.544,63- 7.647,01
Energia incorporada (MJ)	882,40	32.513,86- 33.274,68	9.748,21- 35.743,43	3.924,34	47.068,81- 73.824,85
Consumo de água (L)	0	2.078,40	0	0	2.078,40
Consumo de matérias-primas (kg)	0	21.491,54	0	0	21.491,54
Cimento (kg)	0	4.238,82	0	0	4.238,82
Agregados miúdos (kg)	0	6.988,04	0	0	6.988,04
Agregados graúdos (kg)	0	10.264,69	0	0	10.264,80

Fonte: Autora (2017).

A partir dos resultados obtidos anteriormente, foram elaborados gráficos comparativos entre as paredes e tabelas apresentando os valores totais para cada impacto e a contribuição em porcentagem de cada fase do ciclo de vida.

Emissão de CO₂ incorporado: como pode ser visto no gráfico da Figura 22, as paredes de taipa tem as menores emissões de CO₂. As paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto apresentam desempenho semelhante, tanto para os valores mínimos quanto máximos. As maiores emissões ocorrem na fase de produção (em vermelho no gráfico), que corresponde a mais da metade das emissões totais. A fase de transporte vem em seguida, como a segunda mais impactante, e as fases de extração e construção possuem impactos bem menos relevantes.

Figura 22. Emissão de CO₂ incorporada (kg CO₂) para cada parede - ACV-m



Fonte: Autora (2017).

Tabela 35. Contribuição das fases do ciclo de vida na emissão de CO₂ incorporado em cada parede – ACV-m

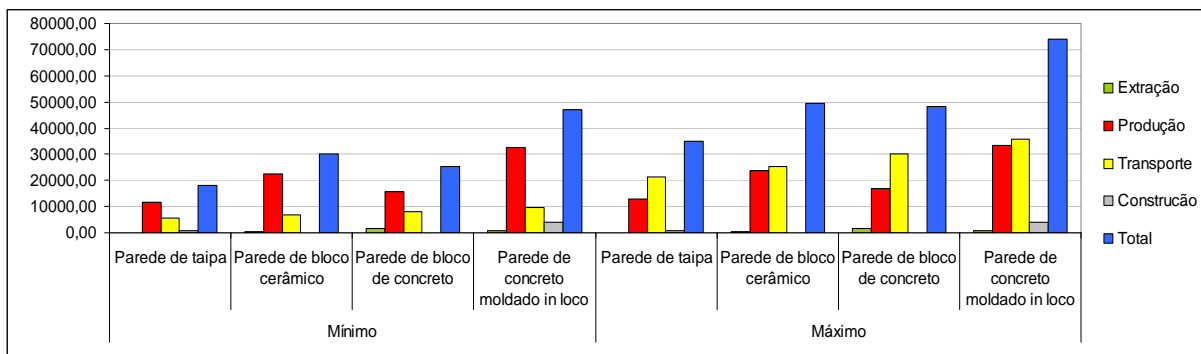
EMIÇÃO DE CO ₂ INCORPORADA								
Fase	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco
(%)								
Extração	1,25	3,77	8,27	2,25	0,80	2,22	4,70	1,63
Produção	80,96	79,13	72,39	70,49	58,14	60,92	55,02	52,80
Transporte	17,44	17,09	19,33	13,35	40,84	36,85	40,28	35,49
Construção	0,35	0,007	0,007	13,92	0,22	0,004	0,004	10,09
Total	2.508,64	3.067,30	3.227,30	5.544,63	3.928,75	5.215,24	5.680,24	7.647,01

Fonte: Autora (2017).

Pela Tabela 35, é possível observar que para as paredes de concreto moldado *in loco* a fase de construção apresenta uma contribuição superior a das outras paredes (entre 10% e 14%), que ocorre devido ao consumo de diesel pelo caminhão betoneira para a mistura e bombeamento do concreto, enquanto nas outras paredes utiliza-se apenas a energia elétrica, que possui menores emissões incorporadas.

Energia incorporada: a parede de taipa continua sendo a menos impactante (Figura 23), e as paredes de blocos de cerâmicos e de blocos de concreto possuem desempenho similar. Novamente, as fases de produção e de transporte possuem a maior contribuição, sendo que para os valores mínimos a produção responde por mais da metade da energia incorporada e para os valores máximos a energia relativa ao transporte é superior.

Figura 23. Energia incorporada (MJ) de cada parede - ACV-m



Fonte: Autora (2017).

Tabela 36. Contribuição das fases do ciclo de vida na energia incorporada de cada parede – ACV-m

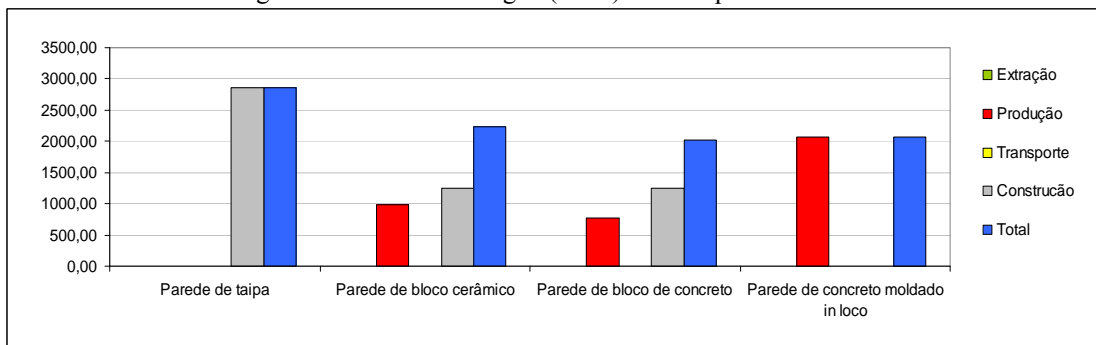
ENERGIA INCORPORADA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco
(%)	0,88	1,95	5,73	1,87	0,46	1,19	3,00	1,20
Extração	62,83	75,07	61,66	69,08	36,91	47,58	34,58	45,07
Produção	31,58	22,90	32,53	20,71	60,18	51,19	62,37	48,42
Transporte	4,72	0,07	0,09	8,34	2,45	0,04	0,05	5,32
Construção	18.253,15	30.145,50	25.266,34	47.068,81	35.118,01	49.457,29	48.312,82	73.824,85
Total								

Fonte: Autora (2017).

A fase de produção do bloco cerâmico tem a maior energia incorporada (75,07%) devido à queima da lenha. A parede em que a fase de transporte é mais significativa é a de blocos de concreto, devido à maior quantidade de materiais transportados.

Consumo de água: as paredes de taipa são as mais impactantes, sendo que as demais paredes apresentam desempenho semelhante (Figura 24). Para as paredes de taipa a fase de construção consome toda a água, já que todos os processos são realizados na obra. Para as paredes de concreto moldado *in loco*, todo o consumo ocorre na mistura do concreto no caminhão betoneira, realizado na usina. Para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, a água é consumida na fase de produção dos blocos e na fase de construção, para a mistura das argamassas.

Figura 24. Consumo de água (litros) de cada parede - ACV-m



Fonte: Autora (2017).

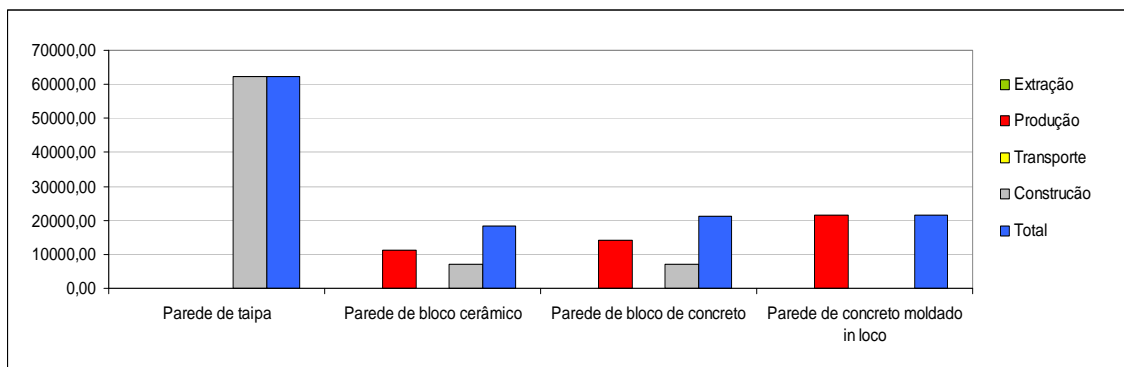
Tabela 37. Contribuição das fases do ciclo de vida no consumo de água em cada parede – ACV-m

CONSUMO DE ÁGUA				
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%)				
Extração	0	0	0	0
Produção	0	43,91	38,01	100
Transporte	0	0	0	0
Construção	100	56,09	61,99	0
Total	2.860,09	2.235,90	2.022,96	2.078,40

Fonte: Autora (2017).

Consumo de matérias-primas: novamente as paredes de taipa são as mais impactantes, e as demais paredes são similares (Figura 25). Para a parede de taipa a fase de construção é responsável por todo o consumo de matérias-primas, e para a parede de concreto moldado *in loco*, é a fase de produção. Para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto a maior parte das matérias-primas é consumida na fase de produção dos blocos, e o restante na fase de construção, na mistura das argamassas.

Figura 25. Consumo de matérias-primas (kg) de cada parede - ACV-m



Fonte: Autora (2017).

Tabela 38. Contribuição das fases do ciclo de vida no consumo de matérias-primas em cada parede – ACV-m

CONSUMO DE MATÉRIAS-PRIMAS				
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%)				
Extração	0	0	0	0
Produção	0	61,04	66,31	100
Transporte	0	0	0	0
Construção	100	38,96	33,69	0
Total	62.352,36	18.335,04	21.159,24	21.491,54

Fonte: Autora (2017).

4.3.1.1 Classificação final das paredes

Para fazer o ranqueamento das paredes, primeiramente foi feita uma classificação para cada categoria de impacto, sendo 1° para aquela com melhor desempenho ambiental, ou seja, com menor impacto, e 4° para a com pior desempenho (Tabela 39). Como o método do ACV-m não

possui uma etapa de normalização, os resultados dos impactos não podem ser somados (ex.: somar emissão de CO₂ com consumo de água), e também não possui recomendações quanto à ponderação das categorias de impactos. Assim, houve dificuldades para classificar as paredes e determinar qual delas seria a que causa menores impactos ambientais. Como exemplo, toma-se a parede de taipa que possui os menores valores para emissão de CO₂ e energia incorporadas, mas possui os maiores valores para consumo de água e de matérias-primas. Qual seria a classificação final das paredes de taipa? 1º(menos impactante) ou 4º(mais impactante)?

Tabela 39. Primeira tentativa de ranqueamento das paredes para o ACV-m

Impacto	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
Emissão de CO ₂ incorporada	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
Energia incorporada	1º	3º	2º	4º	1º	3º	2º	4º
Consumo de água	4º	3º	1º	2º	4º	3º	1º	2º
Consumo de matérias-primas	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º

Fonte: Autora (2017).

Como forma de diminuir essas incertezas, e fazer uma pontuação única, utilizou-se a metodologia da pontuação por escala, descrita no item 3.4. Foram calculadas as diferenças (%) entre cada indicador ambiental, para cada parede com relação à parede de taipa, e depois foram aplicadas as suas respectivas pontuações. A Tabela 40, apresenta os valores totais de cada categoria para cada parede, e Tabela 41 apresenta os resultados do cálculo das diferenças entre as paredes e a parede de taipa.

Tabela 40. Resultados totais da ACV-m para cada parede

IMPACTO	PAREDE	RESULTADO	
		Min.	Max.
Emissão de CO ₂ incorporada (kgCO ₂)	Taipa	2.508,64	3.928,75
	Bloco cerâmico	3.067,30	5.215,24
	Bloco de concreto	3.227,30	5.680,24
	Concreto moldado <i>in loco</i>	5.544,63	7.647,01
Energia incorporada (MJ)	Taipa	18.253,15	35.118,01
	Bloco cerâmico	30.145,50	49.457,29
	Bloco de concreto	25.266,34	48.312,82
	Concreto moldado <i>in loco</i>	47.068,81	73.824,85
Consumo de água (L)	Taipa	2.860,09	2.860,09
	Bloco cerâmico	2.235,90	2.235,90
	Bloco de concreto	2.022,96	2.022,96
	Concreto moldado <i>in loco</i>	2.078,40	2.078,40
Consumo de matérias-primas (kg)	Taipa	62.352,36	62.352,36
	Bloco cerâmico	18.335,04	18.335,04
	Bloco de concreto	21.195,24	21.195,24
	Concreto moldado <i>in loco</i>	21.491,54	21.491,54

Fonte: Autora (2017).

Tabela 41. Diferença entre as paredes e a parede de taipa pelo ACV-m

IMPACTO	PAREDE	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Emissão de CO ₂ incorporada	Bloco cerâmico	-22	-33
	Bloco de concreto	-29	-45
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-121	-95
Energia incorporada	Bloco cerâmico	-65	-41
	Bloco de concreto	-38	-38
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-158	-110
Consumo de água	Bloco cerâmico	22	22
	Bloco de concreto	29	29
	Concreto moldado <i>in loco</i>	27	27
Consumo de matérias-primas	Bloco cerâmico	71	71
	Bloco de concreto	66	66
	Concreto moldado <i>in loco</i>	66	66

Fonte: Autora (2017).

Depois do cálculo das diferenças foram atribuídas a cada parede as suas respectivas pontuações de acordo com o apresentado na Tabela 12, resultando nas pontuações da Tabela 42. A partir das pontuações as paredes foram classificadas conforme apresentado na Tabela 43.

Tabela 42. Primeira pontuação das paredes para o ACV-m

Categoria de impacto		Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
		Emissão de CO₂ incorporada	Mín.	3	4
	Máx.	3	4	4	5
Energia incorporada	Mín.	3	5	4	5
	Máx.	3	4	4	5
Consumo de água	Mín.	3	2	2	2
	Máx.	3	2	2	2
Consumo de matérias-primas	Mín.	3	1	1	1
	Máx.	3	1	1	1
Pontuação Total	Mín.	12	12	11	13
	Máx.	12	11	11	13

Fonte: Autora (2017).

Tabela 43. Primeiro *ranking* das paredes para o ACV-m

	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Mín	2°	2°	1°	3°
Max	2°	1°	1°	3°

Fonte: Autora (2017).

Como visto, para os valores mínimos as paredes de taipa e as paredes de blocos cerâmicos têm performance similar, enquanto para os valores máximos as paredes de blocos cerâmicos são similares às paredes de bloco de concreto.

Na segunda pontuação (Tabela 44), foram tomadas medidas para o desempate, subdividindo as pontuações, conforme apresentado na Tabela 12. Para a pontuação da parede

de taipa considerou-se um valor de 0% de diferença, ou seja a sua pontuação estaria entre 2,5 e 2,75, calculando-se a média obtém-se a pontuação de 2,625 e, com a somatória, obtém-se a pontuação total da parede de taipa, que é 10,50.

Tabela 44. Segunda pontuação das paredes para o ACV-m

Categoria de impacto		Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Emissão de CO2 incorporada	Mín.	2,625	3,25	3,25	5,00
	Máx.	2,625	3,50	3,75	5,00
Energia incorporada	Mín.	2,625	4,25	3,50	5,00
	Máx.	2,625	3,75	3,50	5,00
Consumo de água	Mín.	2,625	2,00	2,00	2,00
	Máx.	2,625	2,00	2,00	2,00
Consumo de matérias-primas	Mín.	2,625	0,75	1,00	1,00
	Máx.	2,625	0,75	1,00	1,00
Pontuação Total	Mín.	10,5	10,25	9,75	13,00
	Máx.	10,5	10,00	10,25	13,00

Fonte: Autora (2017).

A partir dessas considerações, e da pontuação das paredes obtidas anteriormente, é possível classificar as paredes com relação à parede de taipa, obtendo-se a seguinte classificação:

Tabela 45. Segundo *ranking* das paredes para o ACV-m

	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Mín	3°	2°	1°	4°
Max	3°	1°	2°	4°

Fonte: Autora (2017).

Como visto, nessa classificação não há empates, sendo para os valores mínimos as paredes de blocos de concreto são a menos impactantes, seguida das paredes de blocos cerâmicos, das paredes de taipa e, por último, das paredes de concreto moldado *in loco*, e para os valores máximos as paredes de blocos cerâmicos são as menos impactantes.

É preciso mencionar que apesar de ter sido obtida uma classificação para as paredes, as diferenças entre os desempenhos delas nem sempre é significativa. Como pode ser visto pela pontuação total (Tabela 44), a parede de blocos de concreto é a menos impactante, para os valores mínimos, porém, sua diferença com as paredes de blocos cerâmicos é de 4,88% que, por sua vez, são 2,38% menos impactantes que as paredes de taipa, que são 19,23% menos impactantes que as paredes de concreto moldado *in loco*. Para os valores máximos as diferenças também são pequenas: as paredes de blocos cerâmicos são 2,44% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto, que são 2,38% menos impactantes que as paredes de taipa, que são 19,23% menos impactantes que as paredes de concreto moldado *in loco*.

loco. Portanto, para o ACV-m, as paredes de taipa, de bloco cerâmico e de bloco de concreto estariam empatadas.

O mesmo ocorre quando o desempenho das paredes é comparado em cada categoria de impacto, como pode ser visto na Tabela 46, que apresenta as diferenças (%) entre os resultados de cada alternativa em cada indicador de impacto do ACV-m. Em vermelho estão marcadas os valores menores que 15%, que é uma diferença considerada insignificante indicando que as alternativas possuiriam um mesmo desempenho (ATHENA, 2014).

As diferenças entre as paredes foram calculadas segundo a equação 4:

$$\text{Diferença \%} = (\text{Maior impacto} - \text{Menor impacto}) * 100 / \text{Maior impacto} \quad (4)$$

Com base nessa tabela, pode-se afirmar, por exemplo, que as paredes de taipa são 54,76% menos impactantes que as paredes de concreto moldado *in loco* para a categoria de impacto emissão de CO₂, mas não é possível dizer que o bloco cerâmico é menos impactante que o bloco de concreto, pois a diferença entre os resultados gira em torno de 4,96% e 8,19%, ou seja, para este impacto essas duas alternativas são similares.

Tabela 46. Diferenças entre o desempenho das paredes para o ACV-m

(continua)

EMIÇÃO DE CO₂ INCORPORADA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	18,21	24,67
	Bloco de concreto	22,27	30,83
	Concreto moldado <i>in loco</i>	54,76	48,62
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	4,96	8,19
	Concreto moldado <i>in loco</i>	44,68	31,80
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	41,79	25,72
ENERGIA INCORPORADA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	39,45	28,99
	Bloco de concreto	27,76	27,31
	Concreto moldado <i>in loco</i>	61,22	52,43
Bloco cerâmico	Concreto moldado <i>in loco</i>	35,95	33,01
Bloco de concreto	Bloco cerâmico	16,19	2,31
	Concreto moldado <i>in loco</i>	46,32	34,56
CONSUMO DE ÁGUA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
Bloco cerâmico	Taipa	21,83	
	Taipa	29,27	
Bloco de concreto	Bloco cerâmico	9,52	
	Concreto moldado <i>in loco</i>	2,67	
Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	9,11	
	Bloco cerâmico	27,33	

Tabela 46. Diferenças entre o desempenho das paredes para o ACV-m

(conclusão)

CONSUMO DE MATÉRIAS PRIMAS		
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)
Bloco cerâmico	Taipa	70,59
	Bloco de concreto	13,49
	Concreto moldado <i>in loco</i>	14,69
Bloco de concreto	Taipa	66,01
	Concreto moldado <i>in loco</i>	1,38
Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	65,53

Fonte: Autora (2017).

4.3.2 Resultados da IE4B – Athena

Os indicadores considerados no IE4B foram o potencial de aquecimento global; o potencial de acidificação, o potencial de eutrofização do ar, poluição atmosférica, o potencial de formação de *smog*, consumo total de energia primária, consumo de energia não renovável, e consumo de combustível fóssil.

A Tabela 47 apresenta os resultados máximos e mínimos dos indicadores para cada fase do ciclo de vida consideradas (extração, produção, transporte e construção), assim como os valores totais para cada impacto.

Tabela 47. Resultados da IE4B para as paredes

(Continua)

PAREDES DE TAIPA MECANIZADA					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq)	31,71	2.030,87- 2.284,16	452,23- 1.658,16	8,84	2.523,65- 3.982,87
Potencial de acidificação (kg SO ₂ eq)	0,166	5,62- 6,34	0,92- 3,39	0,0057	6,72 9,90
Potencial de eutrofização - ar (kg N eq)	0,0066	0,23- 0,26	0,043- 0,16	0,00032	0,28 0,42
Poluição atmosférica (PM _{2,5} eq)	0,014	0,59- 0,66	0,05- 0,18	0,00008	0,65- 0,86
Potencial de formação de <i>smog</i> (kg O ₃ eq)	0,013	142,76- 160,82	27,29- 100,06	0,20	170,26 261,10
Consumo total de energia primária (MJ)	160,01	11.468,19- 12.963,77	5.763,48- 21.132,75	861,47	18.253,15- 35.118,01
Consumo de energia não renovável (MJ)	160,01	10.973,92- 12.404,90	5.763,48- 21.132,75	178,32	17.075,74- 33.875,99
Consumo de combustível fóssil (MJ)	160,01	10.973,92- 12.404,90	5.763,48- 21.132,75	174,05	17.071,46- 33.871,71
PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq)	116,72	2.427,89- 3.178,09	541,72- 1.986,32	0,23	3.086,56- 5.281,35
Potencial de acidificação (kg SO ₂ eq)	0,61	2,10- 5,36	1,11 4,06	0,0011	3,82- 10,03
Potencial de eutrofização - ar (kg N eq)	0,02	0,09- 0,15	0,05- 0,19	0,00006	0,16- 0,36

Tabela 47. Resultados da IE4B para as paredes

(conclusão)

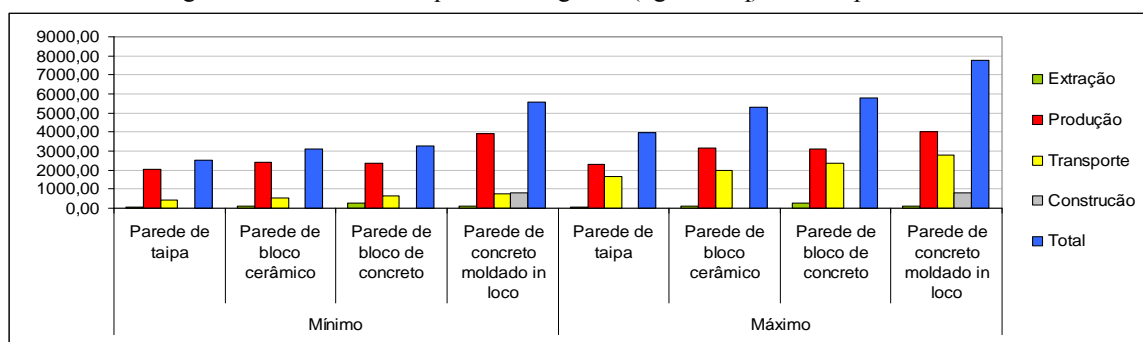
PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Poluição atmosférica (PM_{2,5} eq)	0,05	1,86- 2,88	0,06 0,21	0,00002	1,97- 3,14
Potencial de formação de smog (kg O₃ eq)	15,03	53,64 92,98	32,69 119,87	0,038	101,40- 227,91
Consumo total de energia primária (MJ)	588,89	22.630,53- 23.531,40	6.904,09- 25.315,01	21,99	30.145,50- 49.457,29
Consumo de energia não renovável (MJ)	588,89	11.401,39- 12.298,80	6.904,09- 25.315,01	4,55	18.898,93- 38.207,25
Consumo de combustível fóssil (MJ)	588,89	11.277,56- 12.174,97	6.904,09- 25.315,01	4,44	18.774,99- 38.083,31
PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global (kg CO₂ eq)	269,14	2.336,69- 3.125,79	644,85- 2.364,46	0,23	3.250,91- 5.759,62
Potencial de acidificação (kg SO₂ eq)	1,45	3,70- 7,06	1,32- 4,83	0,001	6,46- 13,34
Potencial de eutrofização - ar (kg N eq)	0,058	0,146- 0,214	0,062- 0,226	0,00006	0,265- 0,498
Poluição atmosférica (PM_{2,5} eq)	0,117	0,362- 1,390	0,070- 0,255	0,00002	0,549- 1,762
Potencial de formação de smog (kg O₃ eq)	35,97	90,55- 132,65	38,91- 142,69	0,038	165,47- 311,35
Consumo total de energia primária (MJ)	1.447,66	15.578,23- 16.708,83	8.218,46- 30.134,35	21,99	25.266,34- 48.312,83
Consumo de energia não renovável (MJ)	1.447,66	14.672,31- 15.789,51	8.218,46- 30.134,35	4,55	24.342,98- 47.376,07
Consumo de combustível fóssil (MJ)	1.447,66	14.652,65- 15.769,85	8.218,46- 30.134,35	4,44	24.332,21- 47.356,30
PAREDES DE CONCRETO MOLDADO <i>IN LOCO</i>					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global (kg CO₂ eq)	125,57	3.910,27 4.039,11	764,88 2.804,57	777,82	5.578,54 7.747,08
Potencial de acidificação (kg SO₂ eq)	0,76	9,91 10,28	1,56 5,73	4,08	16,31 20,84
Potencial de eutrofização - ar (kg N eq)	0,032	0,33 0,35	0,073 0,268	0,161	0,60 0,81
Poluição atmosférica (PM_{2,5} eq)	0,055	1,511 1,548	0,083 0,303	0,338	1,99 2,24
Potencial de formação de smog (kg O₃ eq)	19,82	204,87 214,05	46,16 169,25	100,16	371,00 503,27
Consumo total de energia primária (MJ)	882,40	32.513,86 33.274,68	9.748,21 35.743,43	3.924,34	47.068,81 73.824,85
Consumo de energia não renovável (MJ)	882,40	31.620,22 32.348,16	9.748,21 35.743,43	3.924,34	46.175,17 72.898,34
Consumo de combustível fóssil (MJ)	882,40	31.611,28 32.339,22	9.748,21 35.743,43	3.924,34	46.166,22 72.889,40

Fonte: Autora (2017).

As Figuras 26 a 33 e as Tabelas 48 a 55 apresentam uma comparação entre os desempenhos das paredes para cada categoria de impacto e a contribuição da fase do ciclo de vida em cada um deles.

Potencial de aquecimento global: as paredes de taipa tem melhor desempenho, as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto são semelhantes, e a parede de concreto moldado *in loco* é a pior delas. Para todas as paredes a fase de produção é a maior responsável pelo potencial de aquecimento global, correspondendo a mais da metade do impacto, seguida da fase de transporte.

Figura 26. Potencial de aquecimento global (kg CO₂ eq) de cada parede - IE4B



Fonte: Autora (2017).

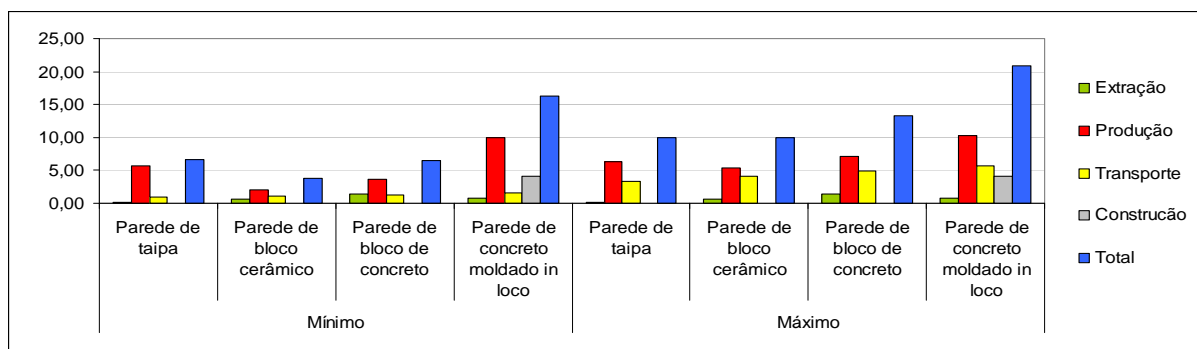
Tabela 48. Contribuição das fases do ciclo de vida potencial de aquecimento global em cada parede – IE4B

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL									
Valores mínimos					Valores máximos				
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	
(%)	Extração	1,26	3,78	8,28	2,25	0,80	2,21	4,67	1,62
	Produção	80,47	78,66	71,88	70,09	57,35	60,18	54,27	52,14
	Transporte	17,92	17,55	19,84	13,71	41,63	37,61	41,07	36,20
	Construção	0,35	0,007	0,007	13,94	0,22	0,004	0,004	10,04
	Total	2.523,65	3.086,56	3.250,91	5.578,54	3.982,87	5.281,35	5.759,62	7.747,08

Fonte: Autora (2017).

Potencial de acidificação: as paredes de bloco cerâmico possuem um melhor desempenho para os valores mínimos, sendo o desempenho da parede de taipa e da parede de blocos de concreto similar. Para os valores máximos as paredes de taipa são ligeiramente melhores que as paredes de blocos cerâmicos.

A fases de produção e transporte são novamente as que mais contribuem para os impactos em todas as paredes, mas para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, a fase de extração das matérias-primas também é significativa, enquanto que na parede de concreto moldado *in loco* a fase de construção impacta tanto quanto a fase de transporte.

Figura 27. Potencial de acidificação (kg SO₂ eq) de cada parede - IE4B

Fonte: Autora (2017).

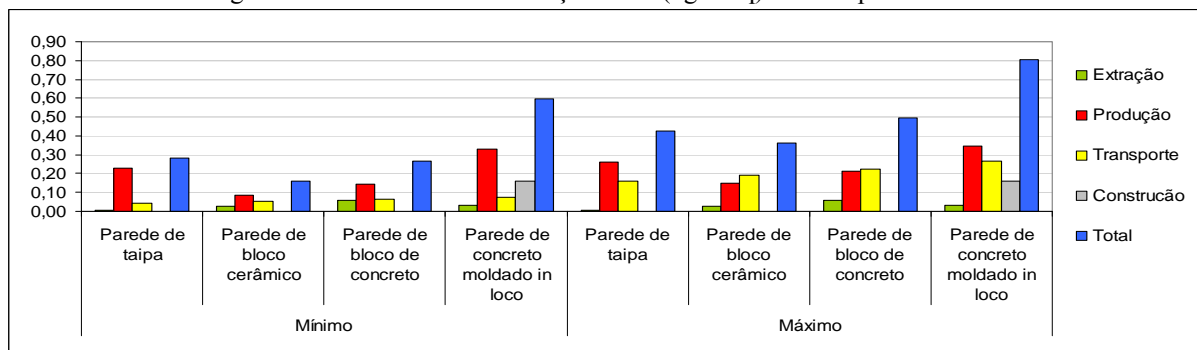
Tabela 49. Contribuição das fases do ciclo de vida potencial de acidificação em cada parede – IE4B

POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%)								
Extração	2,48	16,03	22,39	4,64	1,68	6,10	10,84	3,63
Produção	83,68	54,95	57,19	60,77	64,04	53,41	52,94	49,31
Transporte	13,76	28,99	20,40	9,58	34,23	40,48	36,21	27,50
Construção	0,08	0,028	0,016	25,01	0,06	0,011	0,008	19,57
Total	6,72	3,82	6,46	16,31	9,90	10,03	13,34	20,84

Fonte: Autora (2017).

Potencial de eutrofização do ar: as paredes de blocos cerâmicos tem melhor desempenho. Para os valores mínimos as paredes de taipa são similares às paredes de blocos de concreto, e para os valores máximos as paredes de taipa, de blocos cerâmicos e de blocos de concreto são similares. A fase de extração têm impacto significativo nas paredes de blocos de concreto e de concreto moldado *in loco*, mas as fases de produção e transporte ainda são as mais impactantes.

Figura 28. Potencial de eutrofização do ar (kg N eq) de cada parede - IE4B



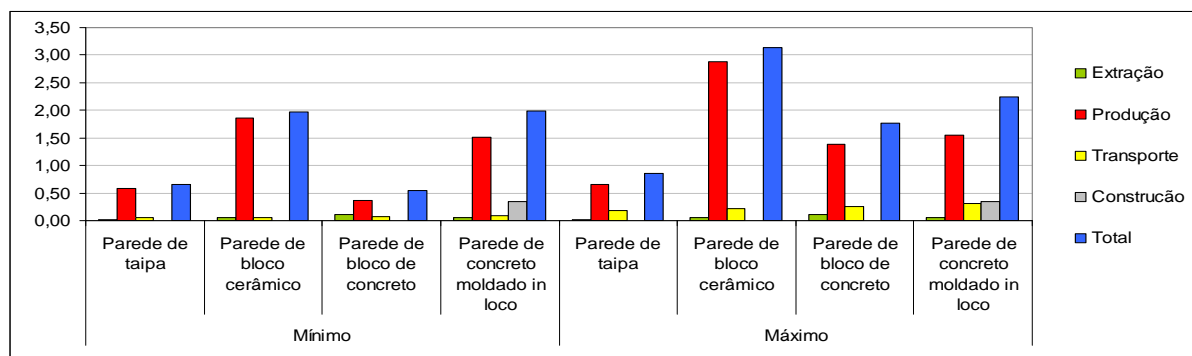
Fonte: Autora (2017).

Tabela 50. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de eutrofização do ar em cada parede – IE4B

POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,35	14,88	21,81	5,36	1,55	6,64	11,63	3,96
Produção	82,09	53,20	54,93	55,34	61,01	41,17	42,93	42,77
Transporte	15,45	31,89	23,24	12,27	37,37	52,18	45,43	33,28
Construção	0,12	0,037	0,023	27,02	0,08	0,017	0,012	19,99
Total	0,28	0,16	0,27	0,60	0,42	0,36	0,50	0,81

Fonte: Autora (2017).

Poluição atmosférica: as paredes de blocos de concreto são as menos impactantes para os valores mínimos, e as paredes de taipa são as menos impactantes para os valores máximos. A fase de produção é a mais impactante.

Figura 29. Poluição atmosférica (PM_{2,5} eq) de cada parede - IE4B

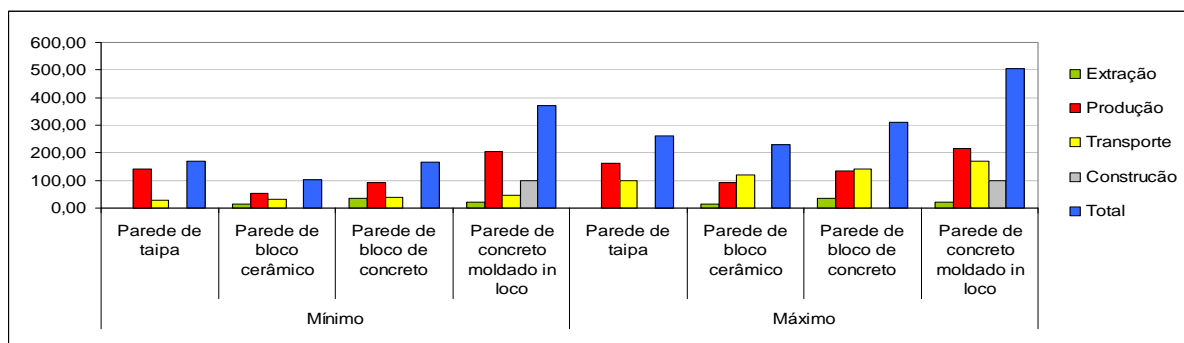
Fonte: Autora (2017).

Tabela 51. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de poluição atmosférica em cada parede – IE4B

POTENCIAL DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,11	2,57	21,35	2,76	1,61	1,61	6,64	2,45
Produção	90,40	94,45	65,93	76,07	77,45	91,56	78,85	68,99
Transporte	7,48	2,97	12,71	4,16	20,93	6,83	14,51	13,51
Construção	0,01	0,0008	0,003	17,00	0,01	0,0005	0,001	15,05
Total	0,65	1,97	0,55	1,99	0,86	3,14	1,76	2,24

Fonte: Autora (2017).

Potencial de formação de smog: as paredes de bloco cerâmico são as menos impactantes. Para os valores mínimos as paredes de taipa e de blocos de concreto possuem desempenho semelhante, e para os valores máximos as paredes de taipa são semelhantes às de blocos cerâmicos. As fases de produção e de transporte são as mais impactantes, sendo que a fase de extração tem influência significativa nas paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, e a fase de construção influencia nas paredes de concreto moldado *in loco*.

Figura 30. Potencial de formação de smog (kg O₃ eq) de cada parede - IE4B

Fonte: Autora (2017).

Tabela 52. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de formação de smog em cada parede – IE4B

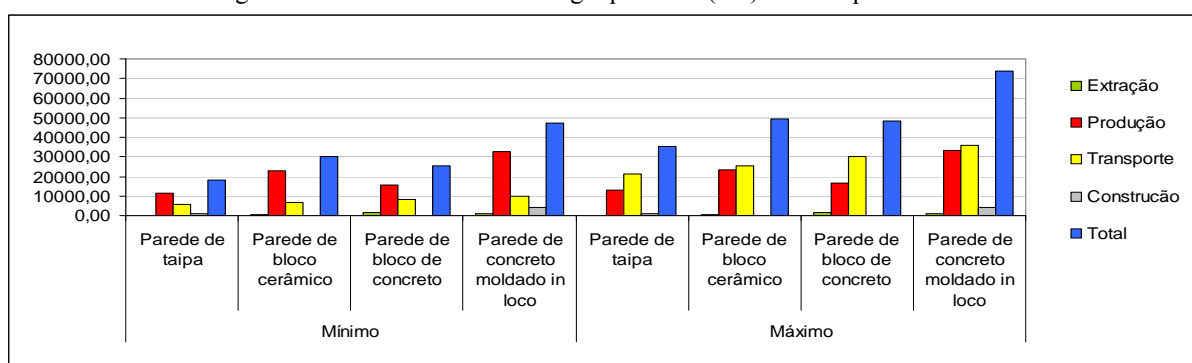
POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG									
		Valores mínimos				Valores máximos			
		Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco
(%)	Extração	0,01	14,82	21,74	5,34	0,01	6,59	11,55	3,94
	Produção	83,84	52,90	54,72	55,22	61,59	40,79	42,61	42,53
	Transporte	16,03	32,24	23,52	12,44	38,32	52,59	45,83	33,63
	Construção	0,12	0,037	0,02	27,00	0,08	0,017	0,01	19,90
	Total	170,26	101,40	165,47	371,00	261,10	227,91	311,35	503,27

Fonte: Autora (2017).

Consumo total de energia primária: as paredes de taipa possuem melhor desempenho. Para os valores máximos o desempenho das paredes de blocos cerâmicos é similar ao das paredes de blocos de concreto.

As fases de produção e de transporte são as mais impactantes para todas as paredes, sendo que para os valores máximos o consumo de energia da fase de transporte é ligeiramente superior.

Figura 31. Consumo total de energia primária (MJ) de cada parede - IE4B



Fonte: Autora (2017).

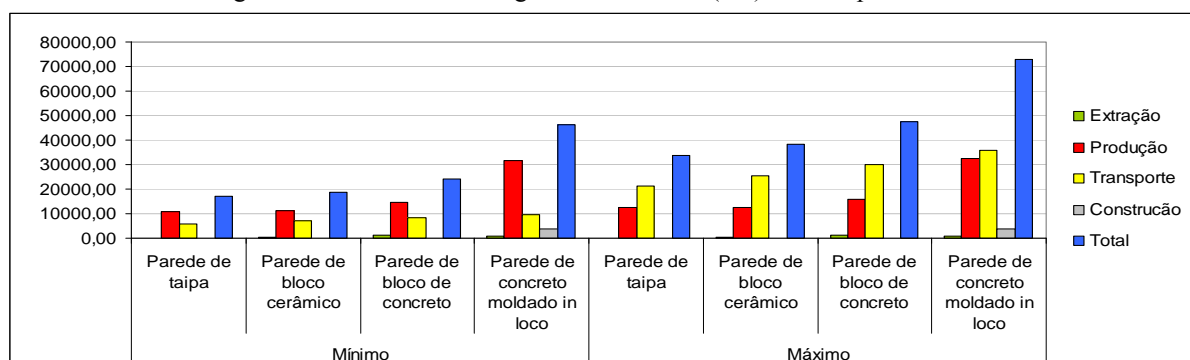
Tabela 53. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo total de energia primária em cada parede – IE4B

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	0,88	1,95	5,73	1,87	0,46	1,19	3,00	1,20
Produção	62,83	75,07	61,66	69,08	36,91	47,58	34,58	45,07
Transporte	31,58	22,90	32,53	20,71	60,18	51,19	62,37	48,42
Construção	4,72	0,07	0,09	8,34	2,45	0,04	0,05	5,32
Total	18.253,15	30.145,50	25.266,34	47.068,81	35.118,01	49.457,29	48.312,82	73.824,85

Fonte: Autora (2017).

Consumo de energia não renovável: as paredes de taipa tem o menor consumo de energia não renovável, sendo seu desempenho similar ao das paredes de blocos cerâmicos. As fases de produção e de transporte são novamente as mais impactantes, observa-se que enquanto para os valores mínimos a fase de produção é a maior consumidora de energia não renovável, para os valores máximos é a fase de transporte que mais consome e isso se deve a faixa de consumo do óleo diesel, que é maior.

Figura 32. Consumo de energia não renovável (MJ) de cada parede - IE4B



Fonte: Autora (2017).

Tabela 54. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo de energia não renovável em cada parede – IE4B

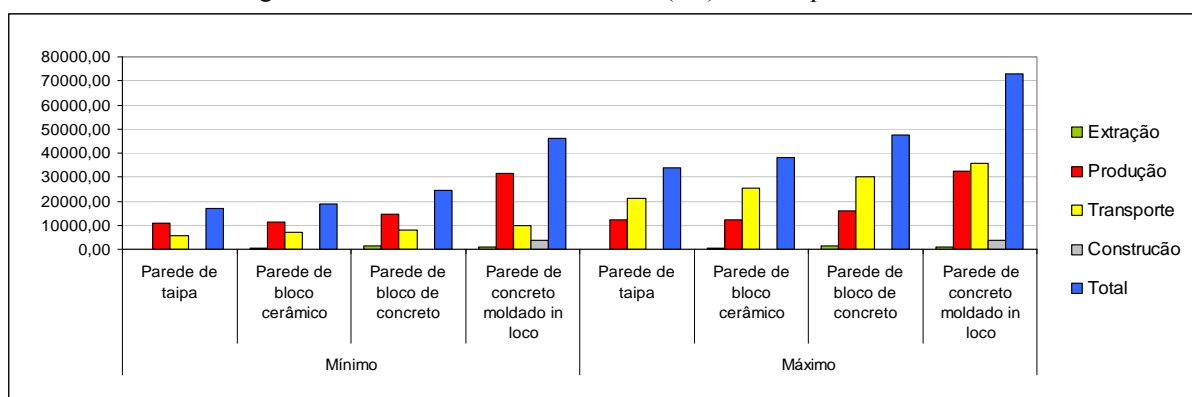
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	0,94	3,12	5,95	1,91	0,47	1,54	3,06	1,21
Produção	64,27	60,33	60,27	68,48	36,62	32,19	33,33	44,37
Transporte	33,75	36,53	33,76	21,11	62,38	66,26	63,61	49,03
Construção	1,04	0,02	0,02	8,50	0,53	0,01	0,01	5,38
Total	17.075,74	18.898,93	24.342,98	46.175,17	33.875,99	38.207,25	47.376,06	72.898,34

Fonte: Autora (2017).

Consumo de combustível fóssil: a parede de taipa é novamente a de melhor desempenho, seguida da parede de blocos cerâmicos, que possui desempenho similar.

Novamente as fases de produção e transporte são as mais impactantes, sendo que para os valores mínimos a fase de transporte é a mais impactante e para os valores máximos é a fase de transporte, devido ao maior consumo de diesel.

Figura 33. Consumo combustível fóssil (MJ) de cada parede do IE4B



Fonte: Autora (2017).

Tabela 55. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo combustível fóssil em cada parede – IE4B

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%)								
Extração	0,94	3,14	5,95	1,91	0,47	1,55	3,06	1,21
Produção	64,28	60,07	60,24	68,47	36,62	31,97	33,30	44,37
Transporte	33,76	36,77	33,79	21,12	62,39	66,47	63,63	49,04
Construção	1,02	0,02	0,02	8,50	0,51	0,01	0,01	5,38
Total	17.071,46	18.774,99	24.323,21	46.166,22	33.871,71	38.083,31	47.356,30	72.889,40

Fonte: Autora (2017).

4.3.2.1 Classificação final das paredes

Assim como o ACV-m, o método IE4B não possui a fase de normalização e ponderação, o que dificulta a comparação entre o desempenho ambiental das alternativas de paredes. Dessa forma, para a classificação das paredes foi utilizado o mesmo método de pontuação que para o método ACV-m, explicado anteriormente (item 4.3.1.1).

A Tabela 56 apresenta os resultados totais do IE4B para cada parede em cada categoria de impacto, a Tabela 57 apresenta as diferenças (%) entre as paredes com relação à parede de taipa.

Tabela 56. Resultados totais das paredes pelo IE4B

(continua)

IMPACTO	PAREDE	RESULTADO	
		Min.	Max.
Potencial de aquecimento global (kg CO₂ eq)	Taipa	2.523,65	3.982,87
	Bloco cerâmico	3.086,56	5.281,35
	Bloco de concreto	3.250,91	5.759,62
	Concreto moldado <i>in loco</i>	5.578,54	7.747,08

Tabel 56. Resultados totais das paredes pelo IE4B

(conclusão)

IMPACTO	PAREDE	RESULTADO	
		Min.	Max.
Potencial de acidificação (kg SO ₂ eq)	Taipa	6,72	9,90
	Bloco cerâmico	3,82	10,03
	Bloco de concreto	6,46	13,34
	Concreto moldado <i>in loco</i>	16,31	20,84
Potencial de eutrofização – ar (kg N eq)	Taipa	0,28	0,42
	Bloco cerâmico	0,16	0,36
	Bloco de concreto	0,27	0,50
	Concreto moldado <i>in loco</i>	0,60	0,81
Poluição atmosférica (PM _{2,5} eq)	Taipa	0,65	0,86
	Bloco cerâmico	1,97	3,14
	Bloco de concreto	0,55	1,76
	Concreto moldado <i>in loco</i>	1,99	2,24
Potencial de formação de <i>smog</i> (kg O ₃ eq)	Taipa	170,26	261,10
	Bloco cerâmico	101,40	227,91
	Bloco de concreto	165,47	311,35
	Concreto moldado <i>in loco</i>	371,00	503,27
Consumo total de energia primária (MJ)	Taipa	18.253,15	35.118,01
	Bloco cerâmico	30.145,50	49.457,29
	Bloco de concreto	25.266,34	48.312,82
	Concreto moldado <i>in loco</i>	47.068,81	73.824,85
Consumo de energia não renovável (MJ)	Taipa	17.075,74	33.875,99
	Bloco cerâmico	18.898,93	38.207,25
	Bloco de concreto	24.342,98	47.376,06
	Concreto moldado <i>in loco</i>	46.175,17	72.898,34
Consumo de combustível fóssil (MJ)	Taipa	17.071,46	33.871,71
	Bloco cerâmico	18.774,99	38.083,31
	Bloco de concreto	24.323,21	47.356,30
	Concreto moldado <i>in loco</i>	46.166,22	72.889,40

Fonte: Autora (2017).

Tabela 57. Diferença entre as paredes e a parede de taipa pelo IE4B

(continua)

IMPACTO	PAREDE	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Potencial de aquecimento global	Bloco cerâmico	-22	-33
	Bloco de concreto	-29	-45
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-121	-95
Potencial de acidificação	Bloco cerâmico	43	-1
	Bloco de concreto	4	-35
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-143	-111
Potencial de eutrofização	Bloco cerâmico	42	14
	Bloco de concreto	5	-17
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-113	-90
Poluição atmosférica	Bloco cerâmico	-202	-267
	Bloco de concreto	16	-106
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-204	-162
Potencial de formação de <i>smog</i>	Bloco cerâmico	40	13
	Bloco de concreto	3	-19
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-118	-93
Consumo total de energia primária	Bloco cerâmico	-65	-41
	Bloco de concreto	-38	-38
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-158	-110

Tabela 57. Diferença entre as paredes e a parede de taipa pelo IE4B

(conclusão)

IMPACTO	PAREDE	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Consumo de energia não renovável	Bloco cerâmico	-11	-13
	Bloco de concreto	-43	-40
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-170	-115
Consumo de combustível fóssil	Bloco cerâmico	-10	-12
	Bloco de concreto	-42	-40
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-170	-115

Fonte: Autora (2017).

As pontuações da Tabela 58 foram atribuídas seguindo o apresentado na Tabela 12.

Tabela 58. Primeira pontuação das paredes para o IE4B

Categoria de impacto		Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
		Potencial de aquecimento global	Mín.	3	4,00
	Máx.	3	4,00	4,00	5,00
Potencial de acidificação	Mín.	3	2,00	3,00	5,00
	Máx.	3	3,00	4,00	5,00
Potencial de eutrofização	Mín.	3	2,00	3,00	5,00
	Máx.	3	3,00	3,00	5,00
Poluição atmosférica	Mín.	3	5,00	3,00	5,00
	Máx.	3	5,00	5,00	5,00
Potencial de formação de <i>smog</i>	Mín.	3	2,00	3,00	5,00
	Máx.	3	3,00	3,00	5,00
Consumo total de energia primária	Mín.	3	5,00	4,00	5,00
	Máx.	3	4,00	4,00	5,00
Consumo de energia não renovável	Mín.	3	3,00	4,00	5,00
	Máx.	3	3,00	4,00	5,00
Consumo de combustível fóssil	Mín.	3	3,00	4,00	5,00
	Máx.	3	3,00	4,00	5,00
Pontuação total	Mín.	24	26	28	40
	Máx.	24	28	31	40

Fonte: Autora (2017).

Com as pontuações chegou-se ao seguinte *ranking*.

Tabela 59. Primeiro ranking das paredes pelo método IE4B

	Paredes de taipa	Paredes de bloco cerâmico	Paredes de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Min	1°	2°	3°	4°
Max	1°	2°	3°	4°

Fonte: Autora (2017).

Como visto, a parede de taipa é a menos impactante, seguida da parede de bloco cerâmico, da parede de bloco de concreto e, por fim, da parede de concreto moldado *in loco*. Mesmo que na primeira pontuação não tenha havido empate, optou-se por fazer a segunda pontuação, mais detalhada, da mesma forma que no ACV-m. Na pontuação do IE4B não houve empates devido

principalmente a maior quantidade de impactos considerados, o que acaba por diminuir as chances de empate. Seguindo o mesmo raciocínio utilizado no item 4.3.1.1, as paredes de taipa apresentam uma pontuação de 21 (pontuação de 2,625 para as 8 categorias de impacto). Dessa forma, a pontuação das paredes ficaria conforme apresentado na Tabela 60.

Tabela 60. Segunda pontuação das paredes para o IE4B

Categoria de impacto	Parede de taipa		Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
	Mín.	Máx.			
Potencial de aquecimento global	Mín.	2,625	3,25	3,25	5,00
	Máx.	2,625	3,50	3,75	5,00
Potencial de acidificação	Mín.	2,625	1,50	2,50	5,00
	Máx.	2,625	2,75	3,50	5,00
Potencial de eutrofização	Mín.	2,625	1,50	2,50	5,00
	Máx.	2,625	2,25	3,00	4,75
Poluição atmosférica	Mín.	2,625	5,00	2,25	5,00
	Máx.	2,625	5,00	5,00	5,00
Potencial de formação de <i>smog</i>	Mín.	2,625	1,75	2,50	5,00
	Máx.	2,625	2,25	3,00	5,00
Consumo total de energia primária	Mín.	2,625	4,25	3,50	5,00
	Máx.	2,625	3,75	3,50	5,00
Consumo de energia não renovável	Mín.	2,625	3,00	3,75	5,00
	Máx.	2,625	3,00	3,50	5,00
Consumo de combustível fóssil	Mín.	2,625	2,75	3,75	5,00
	Máx.	2,625	3,00	3,50	5,00
Pontuação total	Mín.	21	23,00	24,00	40,00
	Máx.	21	25,50	28,75	39,75

Fonte: Autora (2017).

Como visto na Tabela 61, o *ranking* das paredes se mantém.

Tabela 61. Segundo *ranking* das paredes pelo método IE4B

	Paredes de taipa	Paredes de bloco cerâmico	Paredes de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Min	1°	2°	3°	4°
Max	1°	2°	3°	4°

Fonte: Autora (2017).

Da mesma forma que apresentado anteriormente no item 4.3.1.1, as diferenças entre desempenho das paredes nem sempre é significativa. De acordo com a pontuação apresentada anteriormente para os valores mínimos, as paredes de taipa são 8,70% menos impactantes que as paredes de blocos cerâmicos, que são 4,17% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto, que são 40% menos impactantes que as paredes de concreto moldado *in loco*. Para os valores máximos as paredes de taipa são 17,65% menos impactantes que as paredes de blocos cerâmicos, que são 11,30% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto, que são 27,67% menos impactantes que as paredes de concreto moldado *in loco*. Pode-se observar que com excessão das paredes de concreto moldado *in loco*, o desempenho das paredes é bem similar,

principalmente para os valores mínimos em que as diferenças entre elas não ultrapassam 15%, para os valores máximos as diferenças são um pouco maiores, sendo que a parede de taipa é a de melhor desempenho, enquanto a parede de bloco cerâmico e a de bloco de concreto estariam empatadas.

Esses empates também ocorrem ao analisarmos as categorias de impacto isoladamente, como pode ser visto na Tabela 62. Em vermelho estão marcadas as diferenças inferiores a 15%.

Tabela 62. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo IE4B

(continua)

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	18,24	24,59
	Bloco de concreto	22,37	30,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	54,76	48,59
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	5,06	8,30
	Concreto moldado <i>in loco</i>	44,67	31,83
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	41,72	25,65
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	-	1,28
	Bloco de concreto	-	25,80
	Concreto moldado <i>in loco</i>	58,81	52,50
Bloco cerâmico	Taipa	43,15	-
	Bloco de concreto	40,90	24,84
	Concreto moldado <i>in loco</i>	76,59	51,89
Bloco de concreto	Taipa	3,82	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	60,39	35,99
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco de concreto	-	14,74
	Concreto moldado <i>in loco</i>	53,03	47,34
Bloco cerâmico	Taipa	41,97	14,21
	Bloco de concreto	38,78	26,86
	Concreto moldado <i>in loco</i>	72,74	54,82
Bloco de concreto	Taipa	5,21	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	55,47	38,23
POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	66,86	72,77
	Bloco de concreto	-	51,44
	Concreto moldado <i>in loco</i>	67,12	61,85
Bloco cerâmico	Concreto moldado <i>in loco</i>	0,79	-
	Taipa	15,90	-
Bloco de concreto	Bloco cerâmico	72,13	43,93
	Concreto moldado <i>in loco</i>	72,35	21,45
Concreto moldado <i>in loco</i>	Bloco cerâmico	-	28,61

Tabela 62. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo IE4B

(conclusão)

POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco de concreto	-	16,14
	Concreto moldado <i>in loco</i>	54,11	48,12
Bloco cerâmico	Taipa	40,44	12,71
	Bloco de concreto	38,72	26,80
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	72,67	54,71
	Taipa	2,81	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	55,40	38,14
CONSUMO TOTAL DE ENERGIA PRIMARIA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	39,45	28,99
	Bloco de concreto	27,76	27,31
	Concreto moldado <i>in loco</i>	61,22	52,43
Bloco cerâmico	Concreto moldado <i>in loco</i>	35,95	33,01
Bloco de concreto	Bloco cerâmico	16,19	2,31
	Concreto moldado <i>in loco</i>	46,32	34,56
CONSUMO DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	9,65	11,34
	Bloco de concreto	29,85	28,50
	Concreto moldado <i>in loco</i>	63,02	53,53
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	22,36	19,35
	Concreto moldado <i>in loco</i>	59,07	47,59
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	47,28	35,01
CONSUMO DE COMBÚSTIVEL FÓSSIL			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	9,07	11,06
	Bloco de concreto	29,81	28,47
	Concreto moldado <i>in loco</i>	63,02	53,53
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	22,81	19,58
	Concreto moldado <i>in loco</i>	59,35	47,75
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	47,31	35,03

Fonte: Autora (2017).

4.3.3 Resultados do BEES

Os indicadores considerados no BEES foram o potencial de aquecimento global; o potencial de acidificação, o potencial de eutrofização, a depleção de combustível fóssil, o consumo de água, a poluição atmosférica, a saúde humana, o potencial de formação de *smog*, e a toxicidade ecológica.

A Tabela 63 apresenta os resultados máximos e mínimos dos indicadores para cada fase do ciclo de vida consideradas (extração, produção, transporte e construção), assim como os valores totais para cada impacto.

Tabela 63. Resultados do BEES para as paredes

(Continua)

PAREDES DE TAIPA MECANIZADA					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global	0,0198	1,27- 1,43	0,282- 1,035	0,0055	1,58- 2,49
Potencial de acidificação	0,000006	0,00020- 0,00023	0,000033- 0,000122	0,00000021	0,00024- 0,00035
Potencial de eutrofização	0,0017	0,060- 0,067	0,012- 0,043	0,00009	0,073- 0,112
Depleção de combustível fóssil	0,0031	0,229- 0,259	0,113- 0,413	0,003	0,348- 0,678
Consumo de água	0	0	0	0,0162	0,0162
Poluição atmosférica	0,00056	0,0219- 0,0247	0,0021- 0,0078	0,000005	0,0246- 0,0330
Saúde humana	0	0,0232- 0,0262	0	0	0,0232- 0,0262
Potencial de formação de <i>smog</i>	0,0081	0,282- 0,318	0,053- 0,195	0,0004	0,344- 0,521
Toxicidade ecológica	0	0,481- 0,543	0	0	0,481- 0,543
TOTAL	0,033	2,37- 2,67	0,462- 1,693	0,025	2,89- 4,42
PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global	0,073	1,52- 1,99	0,34- 1,24	0,00014	1,93- 3,30
Potencial de acidificação	0,00002	0,00007- 0,00019	0,00004- 0,00015	0,000000039	0,000136- 0,000353
Potencial de eutrofização	0,0063	0,0225- 0,0390	0,0139- 0,0511	0,000016	0,043- 0,096
Depleção de combustível fóssil	0,012	0,228- 0,247	0,135- 0,495	0,000036	0,375- 0,753
Consumo de água	0	0,0056	0	0,0071	0,0127
Poluição atmosférica	0,00207	0,051- 0,081	0,0026- 0,0094	0,0000009	0,055- 0,093
Saúde humana	0	0,0035- 0,0037	0	0	0,0035- 0,0037
Potencial de formação de <i>smog</i>	0,030	0,106- 0,184	0,064 0,233	0,000074	0,199- 0,447
Toxicidade ecológica	0	0,073- 0,076	0	0	0,073- 0,076
TOTAL	0,12	2,01- 2,62	0,55- 2,03	0,0074	2,69- 4,78
PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global	0,17	1,461- 1,955	0,403- 1,476	0,00014	2,03- 3,60
Potencial de acidificação	0,000051	0,000131- 0,000245	0,000047- 0,000174	0,000000039	0,00023- 0,00047
Potencial de eutrofização	0,015	0,0379- 0,0556	0,0166- 0,0608	0,000016	0,07- 0,13
Depleção de combustível fóssil	0,011	0,494- 0,517	0,161- 0,589	0,000036	0,666- 1,117
Consumo de água	0	0,0044	0	0,0071	0,0115

Tabela 63. Resultados do BEES para as paredes

(Conclusão)

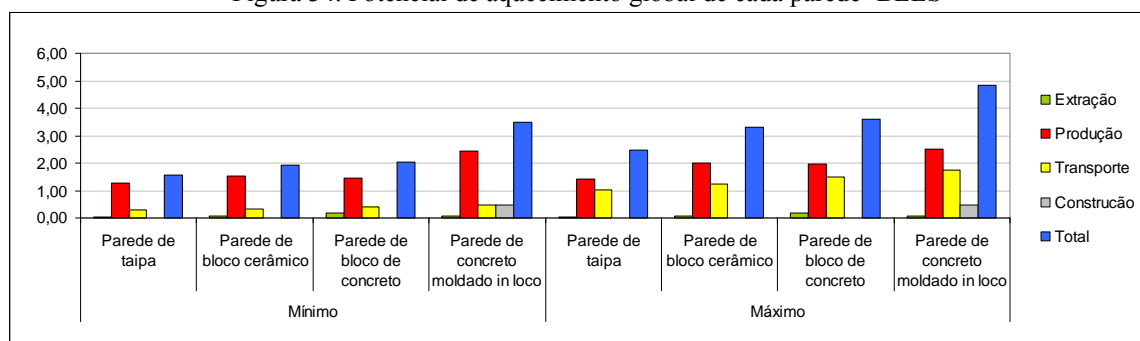
PAREDES DE BLOCOS DE CONCRETO					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Poluição atmosférica	0,0048	0,0140- 0,0451	0,0030- 0,0112	0,0000009	0,0218- 0,0610
Saúde humana	0	0,0120- 0,0126	0	0	0,0120- 0,0126
Potencial de formação de <i>smog</i>	0,071	0,179- 0,262	0,076- 0,278	0,0000074	0,326- 0,611
Toxicidade ecológica	0	0,249- 0,262	0	0	0,249- 0,262
TOTAL	0,27	2,452- 3,114	0,658- 2,414	0,0074	3,386- 5,807
PAREDES DE CONCRETO MOLDADO <i>IN LOCO</i>					
Impacto	Extração (Min-Max)	Produção (Min-Max)	Transporte (Min-Max)	Construção (Min-Max)	Total (Min-Max)
Potencial de aquecimento global	0,078	2,445-2,526	0,478- 1,751	0,486	3,488- 4,842
Potencial de acidificação	0,000027	0,00035- 0,00036	0,00006- 0,00021	0,00014	0,00057- 0,00074
Potencial de eutrofização	0,0087	0,0858- 0,0897	0,0197- 0,0721	0,0419	0,156- 0,212
Depleção de combustível fóssil	0,0175	0,649- 0,664	0,190- 0,698	0,0767	0,933- 1,456
Consumo de água	0	0,0118	0	0	0,0118
Poluição atmosférica	0,0023	0,054-0,055	0,0036- 0,0132	0,0138	0,0735- 0,0846
Saúde humana	0	0,0280- 0,0296	0	0	0,0280- 0,0296
Potencial de formação de <i>smog</i>	0,0389	0,41- 0,42	0,090- 0,33	0,198	0,731- 0,989
Toxicidade ecológica	0	0,58- 0,61	0	0	0,582- 0,613
TOTAL	0,15	4,26- 4,41	0,78- 2,86	0,82	6,00- 8,24

Fonte: Autora (2017).

As Figuras 34 a 42 e as Tabelas 64 a 72 apresentam comparação entre os desempenhos das paredes para cada categoria de impacto e a contribuição da fase do ciclo de vida em cada um deles.

Potencial de aquecimento global: as paredes de taipa são as que tem melhor desempenho. As paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto possuem desempenho semelhante. A fase de produção é a mais impactante, seguida da fase de transporte.

Figura 34. Potencial de aquecimento global de cada parede- BEES



Fonte: Autora (2017).

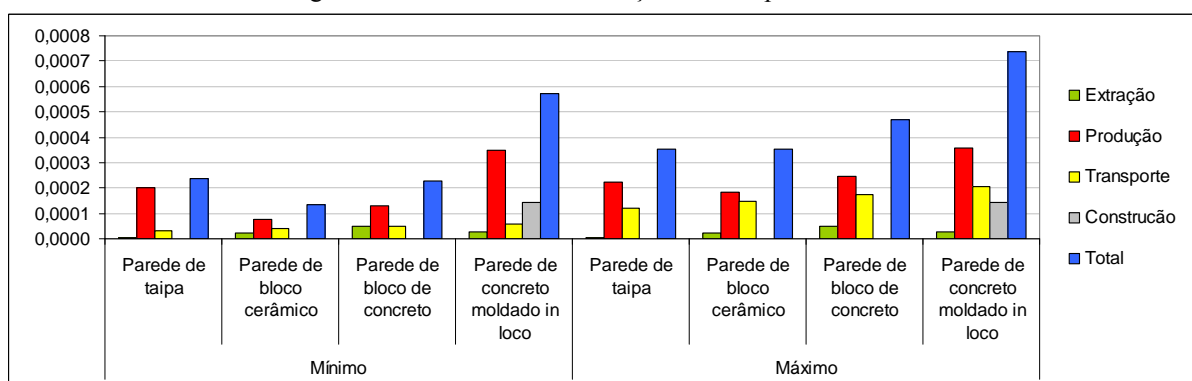
Tabela 64. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de aquecimento global em cada parede – BEES

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco
(%)	1,26	3,78	8,28	2,25	0,80	2,21	4,67	1,62
Extração	80,50	78,69	71,91	70,12	57,39	60,22	54,31	52,17
Produção	17,89	17,53	19,81	13,69	41,59	37,57	41,01	36,16
Transporte	0,35	0,007	0,007	13,94	0,22	0,004	0,004	10,04
Construção	1,58	1,93	2,03	3,49	2,49	3,30	3,60	4,84
Total								

Fonte: Autora (2017).

Potencial de acidificação: a parede de blocos cerâmicos é a menos impactante. Para os valores mínimos as paredes de taipa são semelhantes às paredes de blocos de concreto, enquanto para os valores máximos as paredes de taipa são semelhantes às de blocos cerâmicos. A fase de produção é a mais impactante, seguida da fase de transporte, sendo que para os valores máximos das paredes de concreto moldado *in loco* a fase de construção também exerce influência significativa.

Figura 35. Potencial de acidificação de cada parede – BEES



Fonte: Autora (2017).

Tabela 65. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de acidificação em cada parede – BEES

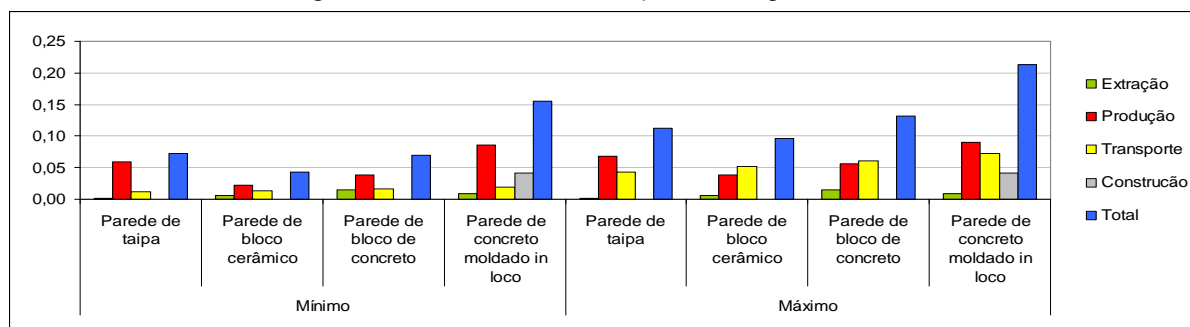
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,46	15,97	22,39	4,69	1,67	6,15	10,91	3,65
Produção	83,55	54,69	56,91	60,37	63,77	52,45	52,12	48,79
Transporte	13,90	29,31	20,68	9,78	34,50	41,39	36,95	27,95
Construção	0,09	0,03	0,017	25,16	0,06	0,01	0,008	19,60
Total	0,00024	0,00014	0,00023	0,00057	0,00035	0,00035	0,00047	0,00074

Fonte: Autora (2017).

Potencial de eutrofização: as paredes de blocos cerâmicos são as menos impactantes. Para os valores mínimos as paredes de taipa possuem desempenho semelhante às paredes de blocos de concreto, e para os valores máximos a parede de taipa é semelhante a parede de blocos cerâmicos.

A fase de produção é a mais impactante, seguida da fase de transporte. A fase de construção exerce influência significativa nas paredes de concreto moldado *in loco*, e para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, a fase de extração também influencia significativamente.

Figura 36. Potencial de eutrofização de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017).

Tabela 66. Contribuição das fases do ciclo de vida do potencial de eutrofização em cada parede – BEES

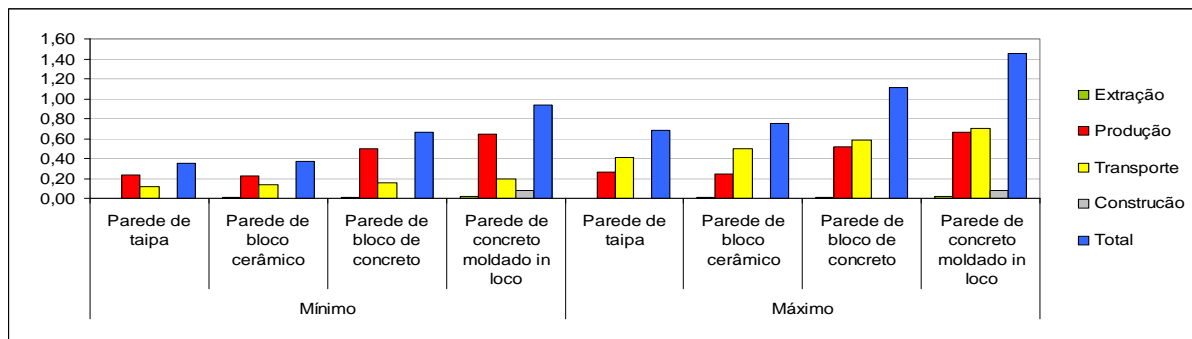
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,33	14,75	21,78	5,55	1,53	6,53	11,54	4,08
Produção	81,67	52,55	54,41	54,99	60,26	40,42	42,25	42,23
Transporte	15,88	32,66	23,78	12,60	38,13	53,03	46,19	33,95
Construção	0,12	0,04	0,02	26,85	0,08	0,02	0,01	19,73
Total	0,073	0,043	0,070	0,156	0,112	0,096	0,132	0,212

Fonte: Autora (2017).

Depleção de combustível fóssil: a parede de taipa é a menos impactante, sendo seu desempenho semelhante ao das paredes de blocos cerâmicos. A fase de produção responde

pela maior parte do impacto nos valores mínimos, e nos valores máximos a fase de transporte tem um impacto maior.

Figura 37. Depleção de combustível fóssil de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017)

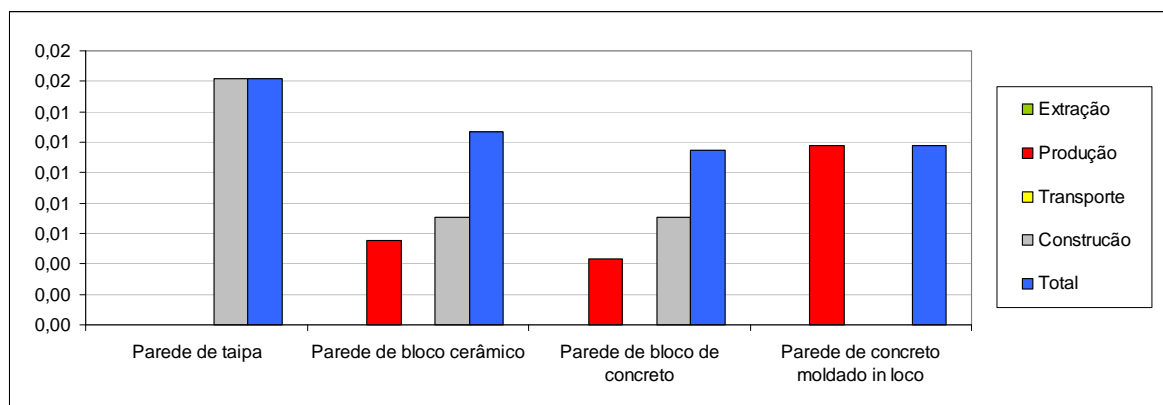
Tabela 67. Contribuição das fases do ciclo de vida da esgotamento de combustível fóssil em cada parede –BEES

ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	0,90	3,07	1,71	1,87	0,46	1,53	1,02	1,20
Produção	65,90	60,92	74,18	65,51	38,23	32,75	46,26	45,59
Transporte	32,35	36,00	24,10	20,41	60,87	65,71	52,71	47,95
Construção	0,85	0,01	0,01	8,22	0,44	0,005	0,003	5,26
Total	0,35	0,37	0,67	0,93	0,68	0,75	1,12	1,46

Fonte: Autora (2017).

Consumo de água: as paredes de taipa são as mais impactantes, sendo que o consumo das demais paredes é semelhante. Para as paredes de taipa a fase de construção consome toda a água, e para as paredes de concreto moldado *in loco*, todo o consumo ocorre durante a mistura do concreto no caminhão betoneira, realizado na usina. Para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, a água é consumida tanto na fase de produção dos blocos, quanto durante a fase de construção para a mistura das argamassas de assentamento e revestimento.

Figura 38. Consumo de água de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017)

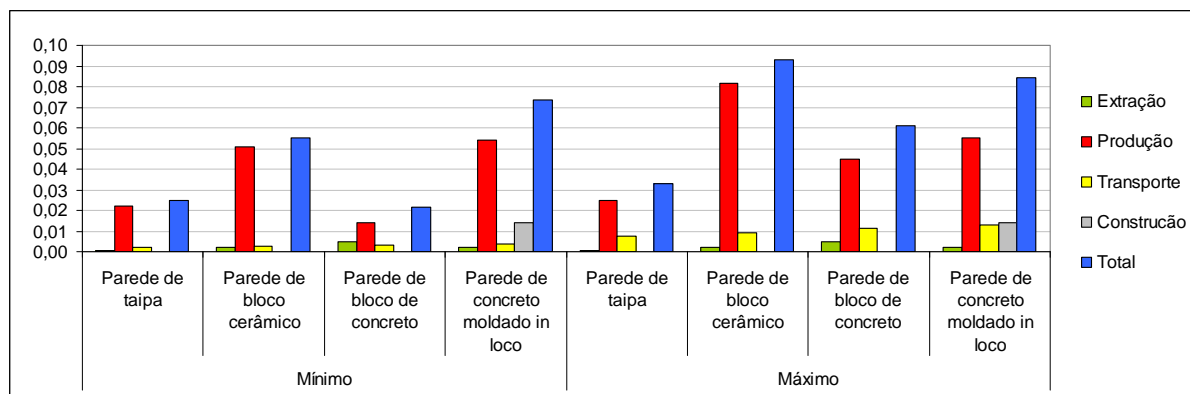
Tabela 68. Contribuição das fases do ciclo de vida do consumo de água em cada parede – BEES

CONSUMO DE ÁGUA				
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	0	0	0	0
Produção	0	43,91	38,01	100
Transporte	0	0	0	0
Construção	100	56,09	61,99	0
Total	0,0162	0,0127	0,0115	0,0118

Fonte: Autora (2017).

Poluição atmosférica: as paredes de blocos de concreto são as menos impactantes para os valores mínimos, e as paredes de taipa são as menos impactantes para os valores máximos, as paredes de blocos cerâmicos são as mais impactantes para as duas faixas de valores. A fase de produção é a mais impactante, seguida da fase de transporte.

Figura 39. Potencial de poluição atmosférica de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017)

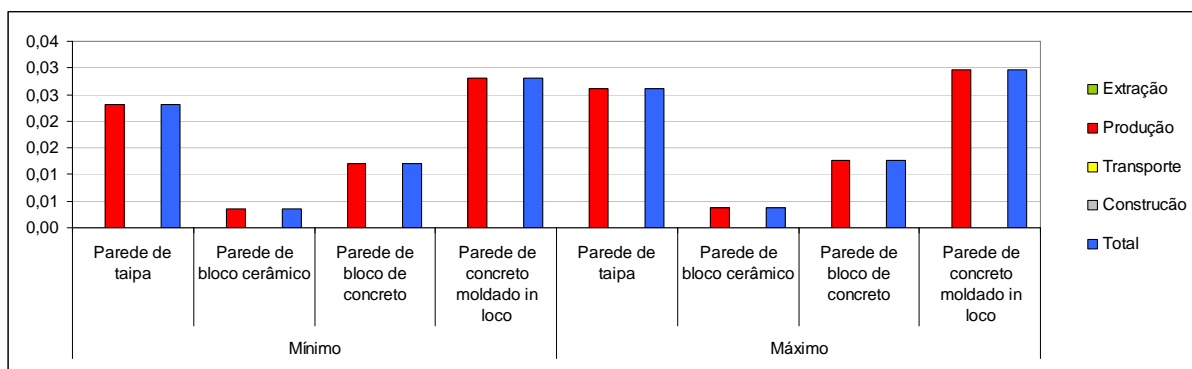
Tabela 69. Contribuição das fases do potencial de poluição atmosférica em cada parede – BEES

POTENCIAL DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,28	3,74	22,03	3,10	1,70	2,23	7,86	2,70
Produção	89,03	91,64	63,97	73,25	74,61	87,67	73,84	65,35
Transporte	8,67	4,62	13,99	4,91	23,68	10,10	18,30	15,65
Construção	0,02	0,002	0,004	18,74	0,02	0,001	0,002	16,30
Total	0,025	0,055	0,022	0,074	0,033	0,093	0,061	0,085

Fonte: Autora (2017)

Saúde humana: as paredes de blocos cerâmicos são as menos impactantes e as paredes de concreto moldado *in loco* são as mais impactantes. O desempenho das paredes de taipa é semelhante ao das paredes de concreto moldado *in loco* devido ao elevado consumo de cimento. A fase de produção corresponde a totalidade do impacto em todas as paredes, isso se deve às emissões relativas à produção do cimento.

Figura 40. Saúde humana de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017)

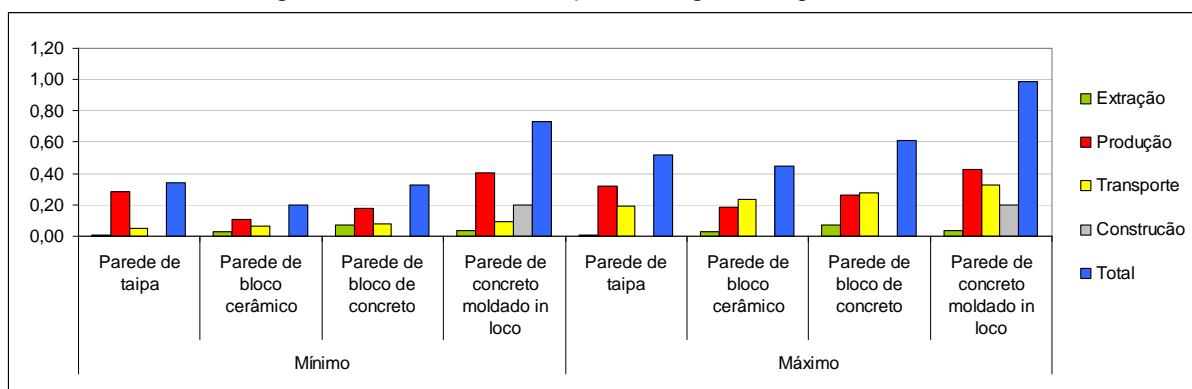
Tabela 70. Contribuição das fases da saúde humana em cada parede – BEES

SAÚDE HUMANA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado in loco
(%)								
Extração	0	0	0	0	0	0	0	0
Produção	100	100	100	100	100	100	100	100
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0
Construção	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0,023	0,003	0,012	0,028	0,026	0,004	0,013	0,030

Fonte: Autora (2017)

Potencial de formação de smog: as paredes de blocos cerâmicos são as menos impactantes. Para os valores mínimos as paredes de taipa e de blocos de concreto possuem desempenho semelhante, e para os valores máximos as paredes de taipa, de bloco cerâmico e de bloco de concreto são similares. A fase de produção é a mais impactante, seguida da fase de transporte, sendo que a fase de construção exerce influência significativa nas paredes de concreto moldado *in loco*, e para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto a fase de extração também influencia significativamente no potencial de formação de smog.

Figura 41. Potencial de formação de smog de cada parede – BEES



Fonte: Autora (2017)

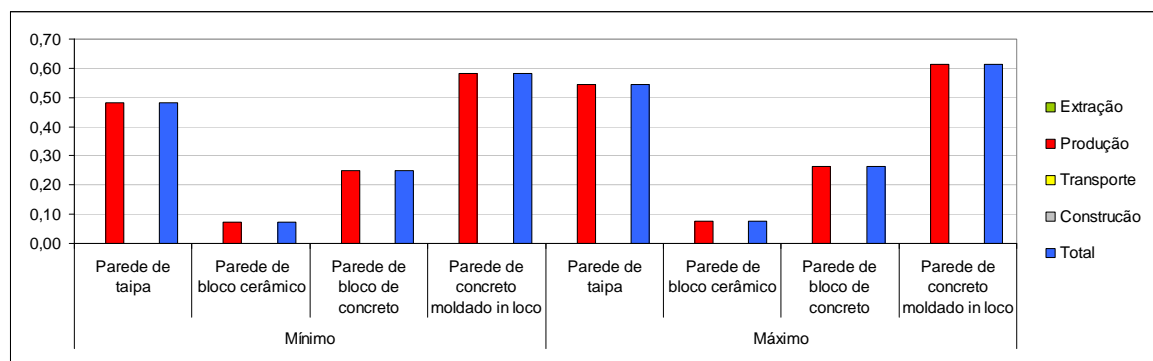
Tabela 71. Contribuição das fases do potencial de formação de smog em cada parede – BEES

POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	2,35	14,88	21,78	5,32	1,55	6,64	11,61	3,93
Produção	82,09	53,20	54,95	55,37	61,01	41,17	42,94	42,78
Transporte	15,45	31,89	23,25	12,28	37,37	52,18	45,44	33,29
Construção	0,12	0,04	0,02	27,03	0,08	0,02	0,01	19,99
Total	0,34	0,20	0,33	0,73	0,52	0,45	0,61	0,99

Fonte: Autora (2017)

Toxicidade ecológica: as paredes de blocos cerâmicos são as menos impactantes. O desempenho das paredes de taipa é semelhante ao das paredes de concreto moldado *in loco* devido ao elevado consumo de cimento. Todo o impacto está relacionado a produção do cimento.

Figura 42. Toxicidade ecológica de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017)

Tabela 72. Contribuição das fases do toxicidade ecológica em cada parede – BEES

TOXICIDADE ECOLÓGICA								
	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
(%) Extração	0	0	0	0	0	0	0	0
Produção	100	100	100	100	100	100	100	100
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0
Construção	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0,48	0,07	0,25	0,58	0,54	0,08	0,26	0,61

Fonte: Autora (2017).

4.3.3.1 Classificação final das paredes

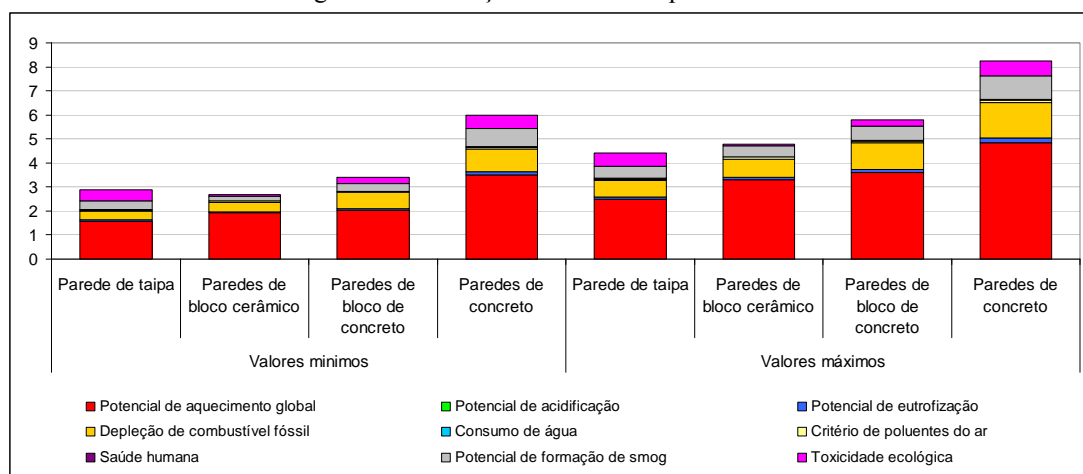
Como o método BEES possui as etapas de normalização e ponderação, a classificação das paredes foi facilitada. A pontuação total do BEES é obtida pela soma dos valores de todas as categorias de impacto. A Tabela 73 e a Figura 43 apresentam os resultados do BEES para as paredes, a partir delas é possível comparar o desempenho e classificar as paredes.

Tabela 73. Pontuação final do BEES

PAREDE	RESULTADO	
	Min.	Max.
Taipa	2,89	4,42
Bloco cerâmico	2,69	4,78
Bloco de concreto	3,39	5,81
Concreto moldado <i>in loco</i>	6,00	8,24

Fonte: Autora (2017).

Figura 43. Pontuação final de cada parede - BEES



Fonte: Autora (2017).

A classificação das paredes pelo método BEES fica conforme apresentado na Tabela 74. As paredes de taipa possuem melhor desempenho ambiental (1°) e as paredes de concreto moldado *in loco* apresentam o pior desempenho (4°) para os valores máximos e mínimos, e as paredes de blocos de concreto são melhores que as de blocos cerâmicos.

Tabela 74. Ranking das paredes pelo método BEES

	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de concreto moldado <i>in loco</i>
Mín	2°	1°	3°	4°
Max	1°	2°	3°	4°

Fonte: Autora (2017).

Observa-se que assim como nos outros métodos as diferenças entre as pontuações das paredes não foi tão significativa, com excessão da parede de concreto moldado *in loco*. Para os valores mínimos a parede de blocos cerâmicos é a com melhor desempenho, mas ela é apenas 6,81% menos impactante que a parede de taipa, que é 14,79% menos impactante que a parede de blocos de concreto, que é 43,56% menos impactante que a parede de concreto moldado *in loco*. Para os valores máximos a parede de taipa é 7,59% menos impactante que a parede de blocos cerâmicos, que é 17,64% menos impactante que a parede de blocos de

concreto, que é 29,52% menos impactante que a parede de concreto moldado *in loco*. Assim, para as duas faixas de valores as paredes de taipa e de blocos cerâmicos estariam empatadas, seguidas da parede de blocos de concreto e, por fim, da parede de concreto molado *in loco*.

A Tabela 75 apresenta as diferenças entre as paredes para cada categoria de impacto. Os valores abaixo de 15% foram marcados em vermelho, representando as diferenças insignificantes e, portanto, as paredes estariam empatadas para a categoria de impacto considerada.

Tabela 75. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo BEES

(Continua)

BEES			
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	18,24	24,59
	Bloco de concreto	22,36	30,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	54,76	48,59
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	5,05	8,30
	Concreto moldado <i>in loco</i>	44,67	31,82
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	41,73	25,66
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco de concreto	-	24,96
	Concreto moldado <i>in loco</i>	58,38	52,10
POTENCIAL DE ACIDIFICAÇÃO			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Bloco cerâmico	Taipa	43,05	0,04
	Bloco de concreto	40,72	24,99
	Concreto moldado <i>in loco</i>	76,30	52,12
Bloco de concreto	Taipa	3,94	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	60,02	36,16
POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco de concreto	-	15,05
	Concreto moldado <i>in loco</i>	53,09	47,36
Bloco cerâmico	Taipa	41,62	13,77
	Bloco de concreto	38,69	26,75
	Concreto moldado <i>in loco</i>	72,61	54,61
Bloco de concreto	Taipa	4,78	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	55,33	38,03
DEPLEÇÃO DE COMBUSTIVEL FÓSSIL			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	7,11	9,89
	Bloco de concreto	47,75	39,27
	Concreto moldado <i>in loco</i>	62,71	53,43
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	43,75	32,61
	Concreto moldado <i>in loco</i>	59,85	48,32
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	28,63	23,31

Tabela 75. Diferenças entre o desempenho das paredes pelo BEES

(conclusão)

CONSUMO DE ÁGUA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Bloco cerâmico	Taipa	21,82	21,82
Bloco de concreto	Taipa	29,27	29,27
	Bloco cerâmico	9,52	9,52
	Concreto moldado <i>in loco</i>	2,67	2,67
Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	27,33	27,33
	Bloco cerâmico	7,04	7,04
POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco cerâmico	55,51	64,41
	Bloco de concreto	-	45,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	66,52	60,92
Bloco cerâmico	Concreto moldado <i>in loco</i>	24,76	-
Bloco de concreto	Taipa	11,48	-
	Bloco cerâmico	60,62	34,27
	Concreto moldado <i>in loco</i>	70,37	27,83
Concreto moldado <i>in loco</i>	Bloco cerâmico	-	8,93
SAÚDE HUMANA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Concreto moldado <i>in loco</i>	17,37	11,44
Bloco cerâmico	Taipa	84,91	86,03
	Bloco de concreto	70,92	71,08
	Concreto moldado <i>in loco</i>	87,53	87,63
Bloco de concreto	Taipa	48,11	51,71
	Concreto moldado <i>in loco</i>	57,13	57,24
POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Bloco de concreto	-	14,73
	Concreto moldado <i>in loco</i>	53,01	47,32
Bloco cerâmico	Taipa	41,97	14,21
	Bloco de concreto	38,76	26,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	72,73	54,81
Bloco de concreto	Taipa	5,24	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	55,47	38,22
TOXICIDADE ECOLÓGICA			
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)	
		Min.	Max.
Taipa	Concreto moldado <i>in loco</i>	17,37	11,44
Bloco cerâmico	Taipa	84,91	86,03
	Bloco de concreto	70,92	71,08
	Concreto moldado <i>in loco</i>	87,53	87,63
Bloco de concreto	Taipa	48,11	51,71
	Concreto moldado <i>in loco</i>	57,13	57,24

Fonte: Autora (2017).

4.3.4 Pontos-chave causadores de impacto dos sistemas construtivos de parede

Com a aplicação das ACVs foi possível identificar os principais pontos-chave causadores de impacto ambiental de cada parede. No geral as fases de produção e de transporte são as mais impactantes nos três métodos, sendo que alguns materiais se destacaram, exercendo os maiores impactos em cada parede. A Tabela 76 apresenta os principais pontos de impacto em cada parede e a sua influência na pontuação total de cada método.

Tabela 76. Influência (%) dos pontos de impacto na pontuação final de cada parede

PAREDE	ETAPA MAIS IMPACTANTE	Valores mínimos			Valores máximos		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Produção de cimento	34,23	74,40	79,53	23,15	52,53	58,76
	Transporte da microfibras de polipropileno	8,33	14,42	10,87	17,16	30,37	26,04
Bloco cerâmico furado	Queima de lenha	17,85	29,48	20,88	10,65	16,01	11,75
	Produção de cal	23,21	12,93	26,98	19,58	5,58	15,18
	Transporte de aço	7,63	13,99	12,36	19,30	26,01	25,51
Bloco de concreto	Produção de cimento	18,82	33,49	23,81	11,23	17,83	14,66
	Produção de cal	23,55	21,66	27,60	18,61	27,67	26,44
	Transporte de aço	9,16	13,23	9,82	18,21	22,65	20,98
Concreto moldado <i>in loco</i>	Produção de cimento	27,57	41,73	46,49	20,05	28,15	35,73
	Transporte de aço e de aditivo plastificante	10,71	11,78	10,65	26,40	29,46	39,09

Fonte: Autora (2017)

A produção do cimento é uma etapa bastante impactante, para as quatro paredes, seguida da produção de cal, cujo impacto foi similar ao do cimento para as paredes de blocos cerâmicos e de blocos de concreto. Observa-se que apesar de possuírem os maiores impactos o cimento e a cal não podem ser simplesmente substituídos, pois eles aumentam a durabilidade e o desempenho das paredes ao longo de sua vida útil, contribuindo assim com a sustentabilidade. Além disso, como neste estudo não foram consideradas as fases de uso e manutenção do edifício, não é possível dizer se o impacto que esses materiais exercem nas fases de produção é significativo ao analisar-se o ciclo de vida, sendo possível que tais impactos sejam absorvidos ao longo da vida do edifício.

A queima da lenha apresentou impactos significativos na produção dos blocos cerâmicos, assim, recomenda-se a substituição desse combustível por um com menores níveis de emissão, como o gás natural.

O transporte de materiais importados (aço, aditivo plastificante e microfibras de polipropileno) também apresentaram impactos elevados em todas as paredes. Como eles não são produzidos no Estado, possuem as maiores distâncias de transporte e conseqüentemente o maior consumo de combustível, mostrando a importância de se consumir produtos locais,

quando possível. Lembra-se que o transporte da microfibras foi considerado a partir do Porto de Santos até a obra, ou seja, se fosse considerado o consumo do material da China até o Brasil, os impactos seriam ainda mais significativos.

4.3.5 Análise de incertezas

A análise de incerteza é um procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida, relativa aos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos considerados; e da incerteza das entradas e variabilidade dos dados (ABNT, 2009).

Existem diferentes tipos e fontes de incertezas ao longo de um estudo de ACV. Essas incertezas podem se estender por todas as fases de uma ACV (definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados). A Tabela 77 descreve os principais tipos e fontes de incertezas.

Tabela 77. Tipos e fontes de incertezas

Incertezas de parâmetro	Imprecisão de dados	Os instrumentos utilizados para análise dos processos estudados podem gerar imprecisão nos resultados coletados.
	Falta de dados	A maioria dos estudos de ACV engloba muitas etapas e processos que vão além do alcance do pesquisador, gerando assim, a falta de diversos dados necessários ao estudo.
	Lacuna de dados	Vinculado à falta de dados, a lacuna nos dados ocorre devido à variação do período de amostragem, no qual, são coletados os dados relevantes ao estudo de ACV. Pode também aparecer na perda ou descarte de dados por algum motivo.
	Dados não representativos	Dados que não representam completamente a realidade do estudo. Quando são utilizados dados de processos semelhantes para preencher a falta de dados, estes podem ser não representativos por serem muito antigos, de origem geográfica diferente, ou desempenho técnico inadequado.
Variabilidades	Variabilidade espacial	Dados de regiões diferentes das do estudo em questão podem possuir características diferentes, mesmo que para parâmetros iguais.
	Variabilidade temporal	Dados de alguns anos atrás podem não representar o atual sistema avaliado tão bem quanto à utilização de dados mais recentes.
	Variabilidade tecnológica	Relativo às tecnologias utilizadas no estudo e diferenças no desempenho entre processos equivalentes ao do sistema estudado (ex: variações em processos técnicos comparáveis).
Incertezas de modelo	Utilização de modelos impróprios podem não representar a realidade do estudo.	
Incertezas devido a escolhas	Quando se lida com escolhas, estas geram incerteza nos resultados finais, por exemplo, escolha dos limites do sistema, métodos de distribuição, metas de qualidade, etc.	
Incerteza subjetiva	Também conhecida como epistemológica, surge por não saber realmente o que irá acontecer. É uma falta de conhecimento no sistema comportamental ou de aspectos relevantes ao sistema estudado, por exemplo, a previsão do comportamento ao longo do tempo ou a caracterização de impactos potenciais.	
Enganos	Em qualquer fase de uma ACV, ou qualquer outro estudo, enganos podem ocorrer e isto gera incerteza.	

Fonte: BENEDET(2007).

Um dos problemas para a avaliação de incertezas está na seleção do método. Existem diversos métodos quantitativos aplicados em ACV, como a simulação de Monte Carlo, lógica *fuzzy*, e análise estatística Bayesiana. Porém, a maioria desses métodos não é implementada em ferramentas de ACV para edifícios, o que dificulta a avaliação de incerteza pelos praticantes de ACV (EeBGuide, 2011). Nenhum dos métodos estudados neste trabalho (ACV-m, IE4B e BEES) utilizam ou indicam qualquer método para a avaliação de incertezas.

Segundo Athena (2014) os resultados do IE4B devem ser analisados considerando-se uma margem de erro de 15%, ou seja, se ao comparar dois cenários, a diferença entre os impactos for igual ou inferior a 15%, os dois cenários são iguais. Ainda, segundo o ENSLIC (2010), mesmo em estudos comparativos de ACV simplificados, e sem a avaliação de incertezas, não é possível chegar a conclusões se as diferenças entre as alternativas for menor que 20%. Neste trabalho não foi feita uma avaliação de incertezas quantitativa, portanto, adotou-se as recomendações do EeBGuide (2011) e do ENSLIC (2010) e do Athena(2014), considerando que as diferenças abaixo de 15% são insignificantes.

A avaliação de incertezas foi feita apenas de forma qualitativa, como descrito anteriormente, todas as fases da ACV estão sujeitas a incertezas e erros, podendo gerar dúvidas na fase de interpretação. Devido às limitações e incertezas encontradas ao longo da pesquisa, foram assumidas diversas considerações e pressupostos, que podem ter gerado resultados incompletos e que nem sempre retratam fielmente a realidade. Tais limitações e incertezas e as medidas tomadas para contorná-las são descritas a seguir.

Definição de objetivo e escopo

As dificuldades iniciam com a definição do escopo do estudo. Como não foram coletadas informações relativas a todos os processos envolvidos na construção das paredes de taipa, sendo nesse caso o uso de água para limpeza e funcionamento do canteiro e a geração e disposição final de resíduos, tais processos não foram considerados para nenhuma das paredes em estudo, já que para possibilitar uma comparação minimamente justa entre as paredes é necessário que possuam o mesmo limite de sistema e escopo. Foi determinada uma mesma unidade funcional para as quatro paredes estudadas (91m²), assim como uma mesma função estrutural, possibilitando a comparação entre elas. Da mesma forma, não foram consideradas as fases de uso/operação e de fim de vida do edifício em questão, assim, o escopo da ACV limitou-se entre a extração das matérias-primas até a construção das paredes. Como não foi considerado todo o ciclo de vida das paredes, é possível que substâncias, materiais e,

consequentemente, impactos importantes tenham sido desconsiderados, e os resultados não correspondam ao real impacto de cada parede.

Análise de inventário

A maior dificuldade foi durante a coleta de dados para elaboração dos inventários das paredes, tanto para a quantificação dos materiais (solo, argila, cimento, brita, areia, etc.) quanto para a quantificação de energia e emissões envolvidas nos processos produtivos.

Para a quantificação de materiais, com exceção das paredes de taipa, em que as medidas foram coletadas *in loco*, todas as paredes tiveram seus dados coletados em referências bibliográficas. Foi observada uma variação nas quantidades de materiais utilizados para a produção e construção das paredes em cada referência bibliográfica. Dessa forma, optou-se por fazer uma média aritmética das quantidades encontradas e, apesar de todas as fontes serem brasileiras, nenhuma delas é relativa à cidade em que a pesquisa foi realizada. Alguns dados foram específicos da região e outros são médias ou recomendações nacionais; outros ainda são coletados em bases de dados internacionais.

Tabela 78. Informações relativas aos dados das alternativas construtivas

Dados	Quantida de referências	Ano de publicação dos trabalhos	Origem geográfica
Blocos cerâmicos	4	2004 - 2012	Santa Catarina; Rio Grande do Sul; Quantis (internacional) e Brasil
Blocos de concreto	4	2010 - 2012	Belo horizonte; Rio Grande do Sul; Brasil
Concreto moldado <i>in loco</i>	3	2011 - 2012	Rio Grande do Sul; Quantis (internacional) e Brasil

Fonte: Autora (2017).

Da mesma forma, os dados relativos ao consumo de energia e às emissões foram coletadas em referências bibliográficas. Buscou-se, sempre que possível, utilizar dados de bibliografias nacionais, porém, muitas delas baseiam-se em referências internacionais. Para o solo arenoso, a argila e a areia foram considerados apenas dados relativos ao consumo de combustível para a extração dessas matérias-primas, e este foi multiplicado pelos valores encontrados para as emissões de óleo diesel para equipamentos fora de estrada.

Tabela 79. Informações relativas aos dados das energias e emissões incorporadas

(Continua)

Dados	Quantida de referências	Ano de publicação dos trabalhos	Origem geográfica
Produção óleo diesel	1	2014	Gabi (Brasil)
Combustão óleo diesel - caminhão	1 Energia 1 Emissões	2014 2012	Brasil
Combustão óleo diesel – veículos fora de estrada	1 Energia 1 Emissões	2014 2010	Brasil EUA
Produção óleo combustível	1	2006	Gabi (Brasil)

Tabela 79. Informações relativas aos dados das energias e emissões incorporadas

(Conclusão)

Dados	Quantidade de referências	Ano de publicação dos trabalhos	Origem geográfica
Combustão óleo combustível	1 Energia	2014	Brasil
	1 Emissões	2010	EUA
Produção gás natural	1	2012	Brasil e Simapro (Internacional)
Combustão gás natural	1	2010	EUA
Lenha	1	2016	Paraná
Energia elétrica	2	2005 - 2014	Brasil
Solo Arenoso		Estimado por fórmula	
Argila	1	2004	Santa Catarina
Areia	1	2012	São Paulo
Brita	1	2012	São Paulo; Brasil e Internacional
Cimento	2	2012 a 2015	Brasil
Cal Hidratada	2	2013 - 2014	Brasil e Europa
Microfibra de polipropileno	1	2016	Ecoinvent (Internacional)
Aditivo plastificante	1	2005	Europa
Aço	1 Energia	2015	Internacional
	2 Emissões	2012 - 2016	Brasil

Fonte: Autora (2017).

Para o cálculo do consumo de combustível relativo ao transporte dos materiais, foi necessário estabelecer as distâncias percorridas, porém, com exceção da distância da jazida de solo arenoso que é conhecida, para todas as outras foram adotadas as prováveis fornecedoras. Uma grande dificuldade foi com relação à microfibra de polipropileno, que foi importada da China, porém, pela falta de dados e pela dificuldade em se determinar o consumo de combustível pela importação deste produto, foi considerada apenas a distância entre o Porto de Santos e o local da obra. Considerou-se que todos os produtos e matérias-primas são de origem nacional, e adotaram-se as distâncias mais próximas encontradas com o auxílio da ferramenta *Google Maps*.

Avaliação de impacto

Por último, devido às limitações descritas anteriormente, houve dificuldades na aplicação das ACVs, apresentando incertezas nos resultados da avaliação de impacto. A maior incerteza relativa a esta etapa está no fato de que duas das metodologias de avaliação escolhidas são estrangeiras (IE4B e BEES), o que pode ter gerado resultados não condizentes com a realidade brasileira. Além disso, para os três métodos avaliados, houve impactos desconsiderados pela falta de dados. No caso do ACV-m não foi considerado o impacto de geração de resíduos, sendo calculados apenas quatro das cinco categorias de impacto. Para IE4B não foi considerado o impacto de potencial de depleção da camada de ozônio, sendo calculados apenas oito impactos das nove categorias de impacto. No caso do BEES não foram

considerados o potencial de depleção da camada de ozônio, a alteração do habitat e a qualidade do ar interno, sendo calculados apenas dez dos treze impactos, sendo assim os resultados do BEES são os mais incertos. Da mesma forma, nem todas as substâncias relacionadas aos impactos ambientais calculados foram consideradas. No total foram avaliadas apenas treze substâncias (CO₂ CH₄ NH₃ MP; N₂O; NO_x; SO_x; H₂S; COV; N; HCl; HF; Hg) de um total de 3.944 substâncias incluídas no modelo TRACI 2.1. Observa-se, que enquanto o ACV-m considera apenas uma substância (CO₂), o BEES possui inventários para 446 substâncias, o IE4B não declara quantas substâncias possui inventariadas.

4.4 Comparação dos resultados dos métodos

Nos itens seguintes é feita análise comparativa dos resultados obtidos pelos três métodos de ACV utilizados. Primeiramente, são analisadas as diferenças entre os desempenhos das paredes para as categorias de impacto semelhantes entre os três métodos, de forma a avaliar se as diferenças no tratamento de dados de cada método influenciam na classificação e no desempenho das paredes. Depois, são analisadas as diferenças entre os *rankings* das paredes, e se essas diferenças são significativas, ou seja, se os impactos dessas paredes estão muito próximos, gerando empates.

4.4.1 Comparação entre as categorias de impacto

Os três métodos considerados na pesquisa possuem algumas categorias de impacto semelhantes. A seguir são analisadas as diferenças entre a performance ambiental das paredes para cada uma dessas categorias de impacto, em cada método de ACV.

Como para cada método as unidades são diferentes (ex.: kgCO₂ equivalente e kgCO₂), não sendo possível comparar os valores dos impactos diretamente, optou-se por comparar as diferenças entre os desempenhos das paredes para cada categoria de impacto. Dessa forma, buscou-se verificar, por exemplo, se para o potencial de aquecimento global, a parede de taipa é menos impactante que a parede de blocos de concreto, em todos os métodos, e se a diferença entre elas obedece à mesma proporção. Para o ACV-m a parede de bloco cerâmico é 4,96% menos impactante que a parede de blocos de concreto, enquanto para o IE4B ela é 5,06% menos impactante. Essa diferença causa alguma interferência na classificação das paredes para essa categoria de impacto e, conseqüentemente, para o *ranking* final?

Por serem derivados de uma mesma metodologia de avaliação de impacto (TRACI), o IE4B e o BEES apresentam maior quantidade de impactos semelhantes, são eles: potencial de aquecimento global; potencial de acidificação; potencial de eutrofização; poluição atmosférica e potencial de formação de *smog*.

O ACV-m, por outro lado, não apresenta nenhum desses indicadores, porém, é possível comparar o potencial de aquecimento global com o indicador de emissão de CO₂ incorporado, já que as emissões desse gás são em geral muito mais abundantes do que as de outros gases (CH₄ e N₂O), contribuindo em média com 99% desse impacto. Outro aspecto sobre o ACV-m é que ele compartilha um impacto com cada um dos outros métodos, como o consumo de energia e o consumo de água. Enquanto no BEES o consumo de energia não é considerado como uma categoria de impacto a ser avaliada, já que considera que os impactos relativos à produção e consumo de energia são distribuídos nas outras categorias de impacto, o IE4B considera o consumo de energia como um impacto, dividindo ainda esse consumo em energia não renovável; e energia vinda de combustíveis fósseis. Já o IE4B não considera o consumo de água como uma categoria de impacto, enquanto o BEES considera. Como os resultados do consumo de energia e do consumo de água são idênticos entre os métodos eles não serão analisados.

As Tabelas 80, 81, 83, 84 e 86 e as Figuras 44 a 48, apresentam as diferenças entre o desempenho das paredes em cada categoria de impacto, para cada método. Em vermelho estão marcados os pontos em que houve maiores diferenças entre os métodos.

Tabela 80. Diferenças de desempenho das paredes para o aquecimento global dos três métodos

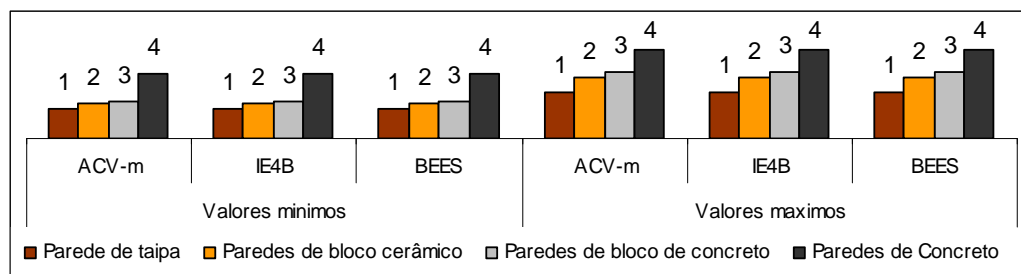
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL/ EMISSÃO DE CO ₂							
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	Diferença mínima (%)			Diferença máxima (%)		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco cerâmico	18,21	18,24	18,24	24,67	24,59	24,59
	Bloco de concreto	22,27	22,37	22,36	30,83	30,85	30,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	54,76	54,76	54,76	48,62	48,59	48,59
Bloco cerâmico	Bloco de concreto	4,96	5,06	5,05	8,19	8,30	8,30
	Concreto moldado <i>in loco</i>	44,68	44,67	44,67	31,80	31,83	31,82
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	41,79	41,72	41,73	25,72	25,65	25,66

Fonte: Autora (2017).

Como pode ser visto, para o indicador de potencial de aquecimento global (Tabela 80), as diferenças entre o desempenho das paredes são similares nos três métodos, sendo que a variação entre essas diferenças são insignificantes e não ultrapassam os 2%. Tal resultado era esperado, já que a emissão de CO₂ corresponde por quase totalidade do potencial de

aquecimento global. Não houve qualquer mudança na classificação das paredes, que é a mesma nos três métodos (Figura 44).

Figura 44. Desempenho das paredes para o aquecimento global dos três métodos



Fonte: Autora (2017).

Para o potencial de acidificação (Tabela 81), as diferenças entre as paredes não ultrapassaram os 3%, mantendo-se proporcional para os dois métodos. Com exceção da diferença entre o desempenho da parede de bloco de cerâmico com relação à parede de taipa, para os valores máximos.

Tabela 81. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de acidificação dos três métodos

MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	Diferença mínima			Diferença máxima		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco cerâmico	-	-	-	-	1,28	-
	Bloco de concreto	-	-	-	-	25,80	24,96
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	58,81	58,38	-	52,50	52,10
Bloco cerâmico	Taipa	-	43,15	43,05	-	-	0,04
	Bloco de concreto	-	40,90	40,72	-	24,84	24,99
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	76,59	76,30	-	51,89	52,12
Bloco de concreto	Taipa	-	3,82	3,94	-	-	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	60,39	60,02	-	35,99	36,16

Fonte: Autora (2017).

Enquanto para o IE4B as paredes de taipa são 1,28% menos impactantes que as paredes de blocos cerâmicos, para o BEES as paredes de blocos cerâmicos são 0,04% menos impactantes que as paredes de taipa. Essas diferenças se devem às unidades de medida e aos fatores de caracterização utilizados em cada método, enquanto o IE4B utiliza kgSO₂ equivalentes o BEES utiliza íons de hidrogênio equivalentes. Como pode ser visto na Tabela 82, os fatores de caracterização seguem a mesma proporção, por exemplo, para o IEB o elemento NH₃ influencia 88% a mais que o SO_x para potencial de acidificação, enquanto para o BEES o NH₃ influencia apenas 18% a mais que o SO_x.

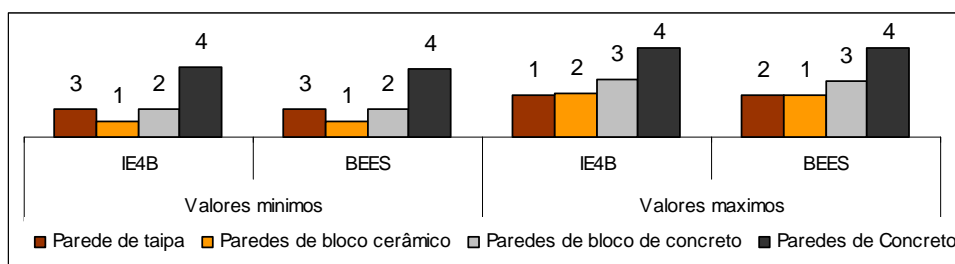
Tabela 82. Fatores de caracterização para o potencial de acidificação do IE4B e do BEES

Elemento	IE4B	BEES
	kgSO ₂ equivalentes	íons de hidrogênio equivalentes
NH ₃	1,88	95,49
NO _x	0,70	44,70
SO _x	1,00	81,26
H ₂ S	1,88	95,90
HCl	0,88	40,04
HF	1,60	50,79

Fonte: Autora (2017)

É possível observar que uma mesma quantidade de elemento pode possuir uma contribuição diferente para um mesmo impacto, dependendo do método de ACV utilizado, o que pode alterar a classificação da parede. Como pode ser visto na Figura 45, as classificações das paredes para os valores máximos estão diferentes: para o IE4B as paredes de taipa são as com menor potencial de acidificação, e para o BEES são as paredes de blocos cerâmicos. Porém, observa-se que as diferenças são mínimas (menos de 2%), e que apesar de ter influenciado na classificação, para os dois métodos as paredes estariam empatadas.

Figura 45. Desempenho das paredes para o potencial de acidificação do IE4B e do BEES



Fonte: Autora (2017).

Para o potencial de eutrofização (Tabela 83), a maior diferença foi para o desempenho das parede de bloco de concreto com relação às paredes de taipa que foi de 8,25%, mas no geral as diferenças não ultrapassaram os 3%.

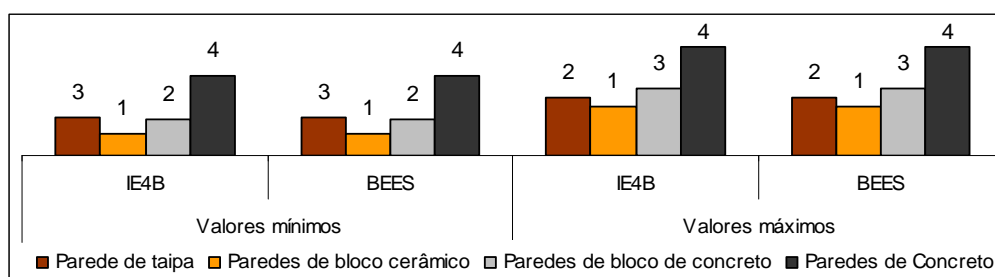
Tabela 83. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de eutrofização dos três métodos

		POTENCIAL DE EUTROFIZAÇÃO					
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	Diferença mínima			Diferença máxima		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco de concreto	-	-	-	-	14,74	15,05
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	53,03	53,09	-	47,34	47,36
Bloco cerâmico	Taipa	-	41,97	41,62	-	14,21	13,77
	Bloco de concreto	-	38,78	38,69	-	26,86	26,75
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	72,74	72,61	-	54,82	54,61
	Taipa	-	5,21	4,78	-	-	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	55,47	55,33	-	38,23	38,03

Fonte: Autora (2017).

Isso se deve às diferenças nos fatores de caracterização dos métodos, para o IE4B o fator do Nitrogênio é 0,15; enquanto para o BEES o fator é de 0,99. Isso ocorre porque o IE4B considera apenas a eutrofização do ar, enquanto o outro considera também a eutrofização da água. Além disso, o BEES inclui a emissão de N₂O. Porém, como pode ser visto na Figura 46, essas diferenças, não influenciam o suficiente para que haja mudanças na classificação das paredes.

Figura 46. Desempenho das paredes para o potencial de eutrofização do IE4B e do BEES



Fonte: Autora (2017).

Para a categoria de poluição atmosférica (Tabela 84), as diferenças entre o desempenho das paredes para os dois métodos variam entre 10% e 97%. Em vermelho estão marcadas as diferenças que foram superiores a 20%.

Tabela 84. Diferenças de desempenho das paredes para a poluição atmosférica dos três métodos

MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	Diferença mínima			Diferença máxima		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco cerâmico	-	66,86	55,51	-	72,77	64,41
	Bloco de concreto	-	-	-	-	51,44	45,85
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	67,12	66,52	-	61,85	60,92
Bloco cerâmico	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	0,79	24,76	-	-	-
Bloco de concreto	Taipa	-	15,90	11,48	-	-	-
	Bloco cerâmico	-	72,13	60,62	-	43,93	34,27
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	72,35	70,37	-	21,45	27,83
Concreto moldado <i>in loco</i>	Bloco cerâmico	-	-	-	-	28,61	8,93
	Bloco de concreto	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2017).

Essas diferenças elevadas se devem a diferenças nos fatores de caracterização e às unidades de medida dos dois métodos, para o IE4B é kg PM_{2,5} equivalentes e para o BEES essa categoria de impacto é medida em MicroDALY's. Além disso, o BEES não considera a emissão de NH₃. A Tabela 85 compara os fatores de caracterização dos dois métodos e como pode ser visto, os fatores de caracterização dos elementos não seguem a mesma proporção para os dois métodos.

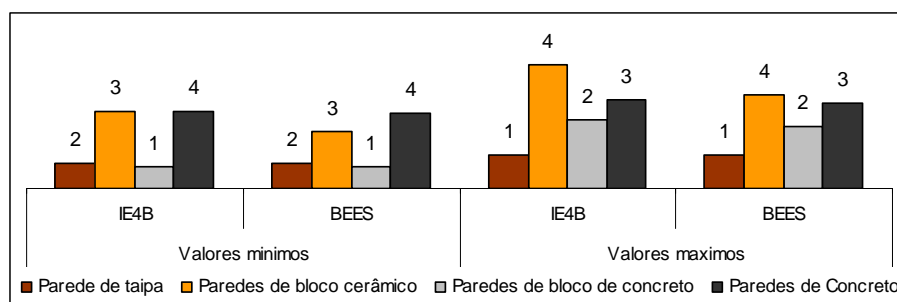
Tabela 85. Fatores de caracterização para poluição atmosférica do IE4B e do BEES

Elemento	IE4B	BEES
	kg PM _{2,5} equivalentes	MicroDALY's
NH ₃	0,07	-
NO _x	0,01	0,02
PM	1	0,083
SO _x	0,06	0,014

Fonte: Autora (2017).

Apesar de as diferenças entre os dois métodos serem elevadas, elas não modificaram a classificação das paredes (Figura 47). Outro aspecto relevante é com relação ao desempenho das paredes de bloco cerâmico para os valores máximos, apesar de não haver diferenças na classificação, para o IE4B a diferença entre ela e as outras paredes é levemente maior que as diferenças do BEES.

Figura 47. Desempenho das paredes para a poluição atmosférica do IE4B e do BEES



Fonte: Autora (2017).

Para o indicador de potencial de formação de *smog* (Tabela 86), no geral as diferenças entre os dois métodos são inferiores a 10%, com exceção do desempenho das paredes de blocos de concreto com relação às paredes de taipa (46,37%), e das paredes de blocos cerâmicos com relação as paredes de taipa (10,55%).

Tabela 86. Diferenças de desempenho das paredes para o potencial de formação de *smog* dos três métodos

POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE SMOG							
MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	Diferença mínima			Diferença máxima		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco de concreto	-	-	-	-	16,14	14,73
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	54,11	53,01	-	48,12	47,32
Bloco cerâmico	Taipa	-	40,44	41,97	-	12,71	14,21
	Bloco de concreto	-	38,72	38,76	-	26,80	26,85
Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	72,67	72,73	-	54,71	54,81
	Taipa	-	2,81	5,24	-	-	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	-	55,40	55,47	-	38,14	38,22

Fonte: Autora (2017).

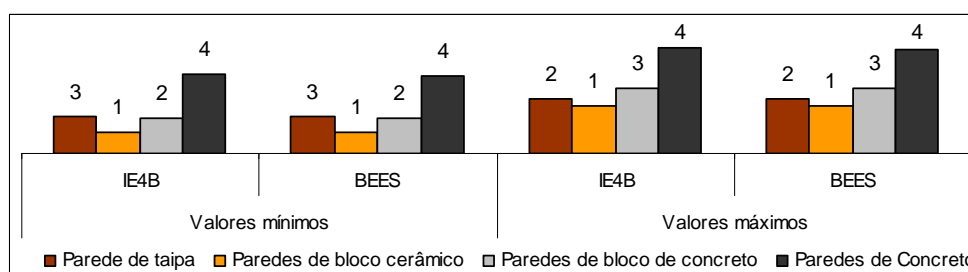
Essas diferenças se devem, novamente, às diferenças nas unidades de medida e nas substâncias consideradas para a caracterização, como pode ser visto na Tabela 87. Porém, mesmo com essas diferenças não há alteração na classificação das paredes (Figura 48).

Tabela 87. Fatores de caracterização para potencial de formação de *smog* do IE4B e do BEES

Elemento	IE4B	BEES
	Kg O3 equivalente	Óxidos de Nitrogênio equivalentes
NO _x	24,80	1,24
NO ₂	1,68	1,24
CH ₄	0,01	-
VOC	3,60	-

Fonte: Autora (2017).

Figura 48. Desempenho das paredes para o potencial de formação de *smog* do IE4B e do BEES



Fonte: Autora (2017)

Observa-se, que como o BEES teve sua última atualização em 2010, ele ainda é baseado na versão mais antiga do TRACI, de 2002, enquanto o IE4B, atualizado em 2014, usa o modelo TRACI 2.1, que é de 2012. O novo modelo do TRACI incluiu diversas substâncias no seu escopo, por exemplo, para categoria de potencial de formação de *smog* o TRACI 2.1 possui cerca de 1.200 substâncias, contra as pouco mais de cem consideradas pelo modelo antigo (BARE, 2011).

Com excessão do potencial de acidificação, não houve diferenças significativas na classificação das paredes pelos métodos. Dessa forma, pode-se concluir que as diferenças entre os *rankings* finais das paredes não se deve a nenhuma das categorias de impacto apresentadas anteriormente. Ou seja, se apenas as categorias de impacto semelhantes entre os três métodos fossem consideradas o *ranking* das paredes para os três métodos seria idêntico.

Com o objetivo de entender a importância das categorias de impacto diferentes (únicas de cada método) na pontuação final, foi feita uma análise da contribuição de cada categoria de impacto na pontuação final de cada método, que é apresentado na Tabela 88.

Tabela 88. Influência (%) das categorias de impacto na pontuação final para cada método

(continua)

Parede	Indicador de impacto	ACV-m		IE4B		BEES	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Parede de taipa	Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	25,00	25,00	12,50	12,50	54,64	56,33
	Energia Incorporada/ Consumo de energia primária	25,00	25,00	12,50	12,50	-	-
	Consumo de água	25,00	25,00	-	-	0,56	0,37
	Consumo de matérias-primas	25,00	25,00	-	-	-	-
	Potencial de acidificação	-	-	12,50	12,50	0,01	0,01
	Potencial de eutrofização	-	-	12,50	12,50	2,54	2,53
	Poluição atmosférica	-	-	12,50	12,50	0,85	0,75
	Potencial de formação de <i>smog</i>	-	-	12,50	12,50	11,90	11,79
	Consumo de energia não renovável	-	-	12,50	12,50	-	-
	Consumo de combustível fóssil	-	-	12,50	12,50	-	-
	Esgotamento de combustível fóssil	-	-	-	-	12,05	15,35
	Saúde humana	-	-	-	-	0,80	0,59
Toxicidade ecológica	-	-	-	-	16,64	12,29	
Parede de blocos cerâmicos	Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	31,71	35,00	14,13	13,73	71,72	69,02
	Energia Incorporada/ Consumo de energia primária	41,46	37,50	18,48	14,71	-	-
	Consumo de água	19,51	20,00	-	-	0,47	0,26
	Consumo de matérias primas	7,32	7,50	-	-	-	-
	Potencial de acidificação	-	-	6,52	10,78	0,01	0,01
	Potencial de eutrofização	-	-	6,52	8,82	1,59	2,02
	Poluição atmosférica	-	-	21,74	19,61	2,06	1,94
	Potencial de formação de <i>smog</i>	-	-	7,61	8,82	7,41	9,34
	Consumo de energia não renovável	-	-	13,04	11,76	-	-
	Consumo de combustível fóssil	-	-	11,96	11,76	-	-
	Esgotamento de combustível fóssil	-	-	-	-	13,93	15,74
	Saúde humana	-	-	-	-	0,13	0,08
Toxicidade ecológica	-	-	-	-	2,69	1,59	
Parede de blocos de concreto	Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	33,33	36,59	13,54	13,04	59,98	61,99
	Energia Incorporada/ Consumo de energia primária	35,90	34,15	14,58	12,17	-	-
	Consumo de água	20,51	19,51	-	-	0,34	0,20
	Consumo de matérias primas	10,26	9,76	-	-	-	-
	Potencial de acidificação	-	-	10,42	12,17	0,01	0,01
	Potencial de eutrofização	-	-	10,42	10,43	2,06	2,27
	Poluição atmosférica	-	-	9,38	17,39	0,64	1,05
	Potencial de formação de <i>smog</i>	-	-	10,42	10,43	9,61	10,52
	Consumo de energia não renovável	-	-	15,63	12,17	-	-
	Consumo de combustível fóssil	-	-	15,63	12,17	-	-
	Esgotamento de combustível fóssil	-	-	-	-	19,66	19,23
	Saúde humana	-	-	-	-	0,35	0,22
Toxicidade ecológica	-	-	-	-	7,36	4,52	

Tabela 88. Influência (%) das categorias de impacto na pontuação final para cada método

Parede	Indicador de impacto	(conclusão)					
		ACV-m		IE4B		BEES	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Parede de concreto moldado <i>in loco</i>	Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	38,46	38,46	12,50	12,58	58,09	58,76
	Energia incorporada/ Consumo de energia primária	38,46	38,46	12,50	12,58	-	-
	Consumo de água	15,38	15,38	-	-	0,20	0,14
	Consumo de matérias primas	7,69	7,69	-	-	-	-
	Potencial de acidificação	-	-	12,50	12,58	0,01	0,01
	Potencial de eutrofização	-	-	12,50	11,95	2,60	2,58
	Poluição atmosférica	-	-	12,50	12,58	1,23	1,03
	Potencial de formação de <i>smog</i>	-	-	12,50	12,58	12,18	12,00
	Consumo de energia não renovável	-	-	12,50	12,58	-	-
	Consumo de combustível fóssil	-	-	12,50	12,58	-	-
	Esgotamento de combustível fóssil	-	-	-	-	15,54	17,68
	Saúde humana	-	-	-	-	0,47	0,36
	Toxicidade ecológica	-	-	-	-	9,69	7,45

Fonte: Autora (2017).

Depois, com base na Tabela anterior, a influência das categorias de impacto únicas foi somada (Tabela 89) assim como a influência das categorias de impacto semelhantes (Tabela 90).

Como pode ser visto na Tabela 89, as categorias de impacto únicas de cada método não chegam a corresponder nem à metade da pontuação final. Para o ACV-m o consumo de matérias-primas influencia de 7,32% (bloco cerâmico) a 25% (taipa) da pontuação. Para o IE4B as categorias de consumo de energia não renovável e de consumo de combustível fóssil influenciam de 23,52% (bloco cerâmico) a 31,26% (bloco de concreto) da pontuação. Para o BEES as categorias de esgotamento de combustível fóssil, de saúde humana e de toxicidade ecológica influenciam entre 16,75% (bloco cerâmico) a 29% (taipa). Isso significa que a maior parte da pontuação final das paredes foi determinada pelas categorias de impacto que os métodos possuem em comum.

Tabela 89. Influência (%) das categorias de impacto únicas na pontuação final de cada método

Método	Categorias únicas	Parede	Contribuição (%)		
			Mínimo	Máximo	
ACV-m	Consumo de matérias-primas	Taipa	25	25	
		Bloco cerâmico	7,32	7,50	
		Bloco de concreto	10,26	9,76	
		Concreto moldado <i>in loco</i>	7,69	7,69	
IE4B	Consumo de energia não renovável	Taipa	25	25	
		Bloco cerâmico	25	23,52	
		Bloco de concreto	31,26	24,34	
BEES	Consumo de combustível fóssil	Concreto moldado <i>in loco</i>	25	25,16	
		Esgotamento de combustível fóssil	Taipa	29	28,23
			Bloco cerâmico	16,75	17,41
BEES	Saúde humana	Bloco de concreto	27,37	23,97	
		Toxicidade ecológica	Concreto moldado <i>in loco</i>	25,70	25,49

Fonte: Autora (2017)

A Tabela 90, apresenta a influência das categorias de impacto semelhantes na pontuação final de cada método, por exemplo, quanto o aquecimento global e o consumo de energia primária, categorias semelhantes entre o ACV-m e o IE4B, influenciam na pontuação final desses dois métodos. Para o ACV-m a emissão de CO₂ e o consumo de energia influenciam de 50% (taipa) a 76,92% (concreto moldado *in loco*) da pontuação total, enquanto para o IE4B elas correspondem apenas de 25% (taipa) a 32,61% (bloco cerâmico) da pontuação total. Isso ocorre pois enquanto o ACV-m possui apenas quatro indicadores de impacto o IE4B possui oito, diminuindo a influência desse impacto na pontuação final.

Tabela 90. Influência (%) das categorias de impacto semelhantes na pontuação final de cada método

Categorias de impacto semelhantes entre ACV-m e IE4B	Parede	Contribuição (%)			
		ACV-m		IE4B	
		Min	Max	Min	Max
Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	Taipa	50,00	50,00	25,00	25,00
	Bloco cerâmico	73,17	76,84	32,61	28,44
	Bloco de concreto	69,23	70,74	28,12	25,21
Energia Incorporada/ Consumo de energia primária	Concreto moldado <i>in loco</i>	76,92	76,92	25,00	25,16
Categorias de impacto semelhantes entre ACV-m e BEES	Parede	Contribuição (%)			
		ACV-m		BEES	
		Min	Max	Min	Max
Potencial de aquecimento global/ Emissão de CO ₂ incorporado	Taipa	50,00	50,00	55,20	56,70
	Bloco cerâmico	51,22	55,00	72,19	69,28
	Bloco de concreto	52,84	56,10	60,32	62,19
Consumo de água	Concreto moldado <i>in loco</i>	53,84	53,84	58,29	58,90
Categorias de impacto semelhantes entre IE4B e BEES	Parede	Contribuição (%)			
		IE4B		BEES	
		Min	Max	Min	Max
Potencial de aquecimento global	Taipa	62,50	62,50	69,94	71,41
Potencial de acidificação	Bloco cerâmico	56,52	61,76	82,79	82,33
	Bloco de concreto	54,18	63,46	72,30	75,84
Potencial de eutrofização	Concreto moldado <i>in loco</i>	62,50	62,27	74,11	74,38
Poluição atmosférica					

Fonte: Autora (2017).

Ainda para o ACV-m, a emissão de CO₂ e o consumo de água influenciam entre 50% (taipa) e 53,84% (concreto moldado *in loco*), e para o BEES as mesmas categorias correspondem de 55,20% (taipa) e 72,19% (bloco cerâmico), dessa forma, pode-se concluir que o BEES possui mais semelhanças com o ACV-m do que o IE4B. Isso ocorre pois o BEES considera o potencial de aquecimento global como o impacto mais importante, dando a ele o maior peso. Com relação às semelhanças entre o IE4B e o BEES, observa-se que o potencial de aquecimento global, o potencial de acidificação, o potencial de eutrofização e a poluição atmosférica, influenciam de 54,18% (bloco de concreto, valores mínimos) a 63,46% (bloco de concreto, valores máximos) na pontuação total do IE4B, e influenciam de 69,94% (taipa) a 82,79% (bloco cerâmico) na pontuação total do BEES. Dessa forma, esses impactos possuem uma influência um pouco maior

para o BEES do que para o IE4B, isso ocorre principalmente devido à ponderação do BEES, aumentando a influência do potencial de aquecimento global, tal ponderação não ocorre no IE4B e, por isso, a influência dessas categorias é levemente menor.

Outra análise que pode ser feita é com relação à influência da emissão de CO₂, único elemento considerado pelos três métodos. Como pode ser visto na Tabela 91, apenas a emissão de CO₂ corresponde a mais da metade do impacto de todas as paredes pelo método BEES. Essas emissões também têm uma contribuição significativa para o ACV-m, apesar de ele não possuir ponderação, é possível ver como apenas a emissão de CO₂ influencia em grande parte da pontuação, sendo os indicadores de consumo de energia, consumo de água; e consumo de matérias-primas responsáveis pelo restante da pontuação. O IE4B é o menos influenciado pelas emissões de CO₂, já que este elemento participa apenas da categoria de potencial de aquecimento global e os impactos não são ponderados, como visto a influência do CO₂ não chega a 20% da pontuação final.

Tabela 91. Influência (%) da emissão de CO₂ na pontuação final de cada método

Parede	ACV-m		IE4B		BEES	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Parede de taipa	25	25	12,43	12,33	54,30	55,65
Parede de bloco cerâmico	31,71	35,00	14,04	13,56	71,35	68,19
Parede de bloco de concreto	33,33	36,59	13,44	12,86	59,68	61,13
Parede de concreto moldado <i>in loco</i>	38,46	38,46	12,42	12,42	57,75	58,03

Fonte: Autora (2017).

4.4.2 Comparação entre os rankings

A Tabela 92 e a Figura 49, apresentam os rankings das paredes para os três métodos, para os valores mínimos e máximos. Em verde foram marcados os rankings iguais e em vermelho os rankings diferentes.

Tabela 92. Comparação entre os rankings das paredes pelos três métodos

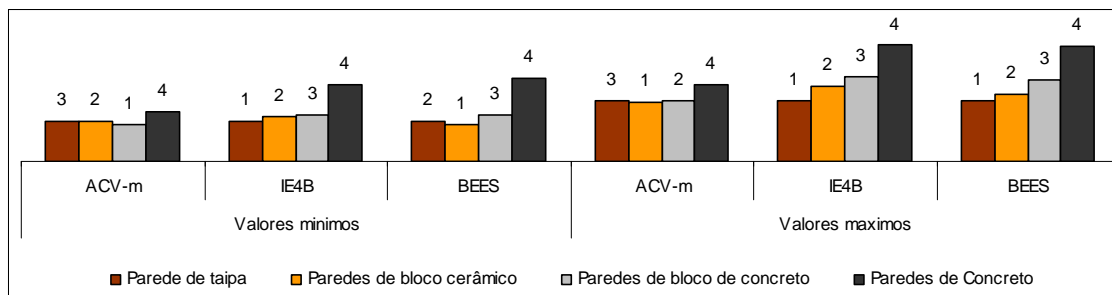
Método	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
ACV-m	3°	2°	1°	4°	3°	1°	2°	4°
IE4B	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
BEES	2°	1°	3°	4°	1°	2°	3°	4°

Fonte: Autora (2017)

Como visto na Tabela 92, as paredes de concreto moldado *in loco* são as mais impactantes, independente do método de ACV utilizado, e da adoção ou não de normalização ou ponderação. Porém, para as demais paredes houve divergências nas classificações. Para os

valores mínimos a parede de taipa ocupou a 3^o posição para o ACV-m, o 1^o lugar para o IE4B, e o 2^o lugar para o BEES. Para os valores máximos as classificações das paredes são as mesmas para o IE4B e para o BEES (1^o taipa, 2^o bloco de concreto, 3^o bloco cerâmico, 4^o concreto moldado *in loco*) mas para o ACV-m a classificação ficou diferente, com exceção do concreto moldado *in loco*.

Figura 49. Comparação entre os *rankings* das paredes de cada método



Fonte: Autora (2017)

A partir da Figura 49, é possível observar que mais do que diferenças no *ranking* das paredes, os métodos apresentam diferentes proporções de impacto entre as paredes. As diferenças entre o desempenho das paredes para o IE4B são levemente superiores as diferenças do BEES, e para o ACV-m as diferenças entre as paredes é menor. Considerando a faixa de valores máximos para o IE4B o primeiro colocado é 47,19% menos impactante que o quarto, para o BEES essa diferença é de 46,36%, e para o ACV-m é de 23,03%.

Para entender os motivos dessas diferenças, primeiramente é preciso analisar novamente a pontuação para as paredes de taipa, de blocos cerâmicos e de concreto, que serão apresentadas a seguir. Em vermelho estão os casos em que as pontuações das outras paredes são inferiores à pontuação da parede de taipa.

Para o método ACV-m (Tabela 93), a parede de taipa é menos impactante que as outras nas categorias de emissão de CO₂ e de energia incorporada, porém, é mais impactante para o consumo de água, e consumo de matérias-primas (marcados em vermelho). Como o ACV-m possui menos categorias de impacto e não possui ponderação, cada categoria exerce influência significativa na pontuação final (cada categoria responde por 25%), então mesmo a parede de taipa sendo menos impactante para duas dessas categorias, ela acabou como a parede de pior desempenho entre as três.

Tabela 93. Análise das pontuações do ACV-m para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto.

Categoria de impacto	Valores mínimos			Valores máximos		
	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto
Emissão de CO2 incorporada	2,625	3,25	3,25	2,625	3,50	3,75
Energia incorporada	2,625	4,25	3,50	2,625	3,75	3,50
Consumo de água	2,625	2,00	2,00	2,625	2,00	2,00
Consumo de matérias-primas	2,625	0,75	1,00	2,625	0,75	1,00
Pontuação Total	10,50	10,25	9,75	10,50	10,00	10,25

Fonte: Autora (2017).

Ao se analisar a pontuação do IE4B (Tabela 94), observa-se que para os valores mínimos, a parede de taipa possui melhor desempenho (menor pontuação) que a parede de bloco cerâmico com relação às categorias de potencial de aquecimento global, poluição atmosférica, consumo total de energia primária, consumo de energia não renovável e consumo de combustível fóssil, que correspondem à 62,50% da pontuação (cada categoria responde por 12,5%). A parede de bloco cerâmico possui melhor desempenho em apenas 37,50% da pontuação, ou seja, a parede de taipa possui melhor desempenho total. Com relação à parede de bloco de concreto, a parede de bloco cerâmico é menos impactante em 62,50% da pontuação, portanto, ela tem melhor desempenho. Para os valores mínimos, a parede de taipa tem melhor desempenho em 75% da pontuação com relação à parede de bloco cerâmico, que tem melhor desempenho em 75% da pontuação com relação à parede de bloco de concreto. Por ter maior quantidade de categorias de impacto, a responsabilidade de cada uma delas na pontuação final é pequena, possibilitando menor chance de empates, ou que a pontuação final seja influenciada por apenas um impacto, como ocorreu no ACV-m.

Tabela 94. Análise das pontuações do IE4B para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto.

Categoria de impacto	Valores mínimos			Valores máximos		
	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto
Potencial de aquecimento global	2,625	3,25	3,25	2,625	3,50	3,75
Potencial de acidificação	2,625	1,50	2,50	2,625	2,75	3,50
Potencial de eutrofização	2,625	1,50	2,50	2,625	2,25	3,00
Poluição atmosférica	2,625	5,00	2,25	2,625	5,00	5,00
Potencial de formação de <i>smog</i>	2,625	1,75	2,50	2,625	2,25	3,00
Consumo total de energia primária	2,625	4,25	3,50	2,625	3,75	3,50
Consumo de energia não renovável	2,625	3,00	3,75	2,625	3,00	3,50
Consumo de combustível fóssil	2,625	2,75	3,75	2,625	3,00	3,50
Pontuação total	21,00	23,00	24,00	21,00	25,50	28,75

Fonte: Autora (2017).

Para o BEES a situação é diferente; as paredes de bloco cerâmico e de bloco de concreto possuem melhor desempenho na maioria das categorias de impacto (em vermelho), porém, nem sempre isso garantirá que elas possuam o melhor desempenho na pontuação final.

Para os valores mínimos, a parede de bloco de concreto possui melhor desempenho em sete das nove categorias de impacto, mas, é a parede com pior desempenho, devido principalmente ao seu elevado potencial de aquecimento global. Como o BEES possui a etapa de ponderação, a quantidade de categorias em que a parede possui um melhor desempenho, não exerce influência significativa na pontuação final, dessa forma, apenas o potencial de aquecimento global, que possui o maior peso no BEES, pode determinar a classificação final da parede.

Tabela 95. Análise das pontuações do BEES para as paredes de taipa, bloco cerâmico e bloco de concreto

Categoria de impacto	Valores mínimos			Valores máximos		
	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto	Parede de taipa	Parede de bloco cerâmico	Parede de bloco de concreto
Potencial de aquecimento global	1,58	1,93	2,03	2,49	3,30	3,60
Potencial de acidificação	0,00024	0,00014	0,00023	0,00035	0,00035	0,00047
Potencial de eutrofização	0,073	0,043	0,070	0,112	0,096	0,132
Esgotamento de combustível fóssil	0,35	0,37	0,67	0,68	0,75	1,12
Consumo de água	0,016	0,013	0,011	0,016	0,013	0,011
Poluição atmosférica	0,025	0,055	0,022	0,033	0,093	0,061
Saúde humana	0,023	0,003	0,012	0,026	0,004	0,013
Potencial de formação de <i>smog</i>	0,34	0,20	0,33	0,52	0,45	0,61
Toxicidade ecológica	0,48	0,07	0,25	0,54	0,08	0,26
Pontuação total	2,89	2,69	3,39	4,42	4,78	5,81

Fonte: Autora (2017).

Observa-se que apesar dessas diferenças na classificação das paredes, na realidade para os três métodos as paredes estariam empatadas gerando, assim, dúvidas na sua classificação. A Tabela 96, apresenta as diferenças entre as pontuações das paredes para os três métodos, as diferenças abaixo de 15% estão marcadas em vermelho. Com base nessa tabela é possível identificar alguns pontos de divergência entre os resultados, como a parede de taipa ter melhor desempenho do que a parede de blocos cerâmicos para o IE4B, mas para o ACV-m e para o BEES, a parede de blocos cerâmicos possui o melhor desempenho. Também é possível verificar que para o ACV-m as diferenças de desempenho entre as paredes é menor do que para os outros dois métodos.

Tabela 96. Diferenças entre as pontuações totais dos três métodos

MENOR IMPACTO	MAIOR IMPACTO	DIFERENÇA (%)					
		Valores mínimos			Valores máximos		
		ACV-m	IE4B	BEES	ACV-m	IE4B	BEES
Taipa	Bloco cerâmico	-	8,70	-	-	17,65	7,59
	Bloco de concreto	-	12,50	14,79	-	26,96	23,90
	Concreto moldado <i>in loco</i>	19,23	47,50	51,91	19,23	47,17	46,37
Bloco de cerâmico	Taipa	2,38	-	6,81	4,76	-	-
	Bloco de concreto	-	4,17	20,60	2,44	11,30	17,64
	Concreto moldado <i>in loco</i>	21,15	42,50	55,18	23,00	35,85	41,96
Bloco de concreto	Taipa	7,14	-	-	2,38	-	-
	Bloco de cerâmico	4,88	-	-	-	-	-
	Concreto moldado <i>in loco</i>	25,00	40,00	43,56	21,15	27,67	29,52

Fonte: Autora (2017).

Para os valores mínimos da ACV-m, as paredes de blocos de concreto são 4,88% menos impactantes que as paredes de blocos cerâmicos, que são 2,38% menos impactantes que as paredes de taipa, e para os valores máximos, as paredes de blocos cerâmicos são 2,44% menos impactantes que as paredes de bloco de concreto, que são 2,38% menos impactantes que as paredes de taipa. Portanto, as três estariam empatadas tanto para os valores máximos quanto para os mínimos.

Para os valores mínimos do IE4B, as paredes de taipa são 8,70% menos impactantes que as paredes de blocos cerâmicos, que são 4,17% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto, e para os valores máximos, as paredes de taipa são 17,65% menos impactantes que as paredes de bloco cerâmico, que são 11,30% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto. Para os valores mínimos as três estariam empatadas, e para os valores máximos as paredes de blocos cerâmicos estariam empatadas e as paredes de taipa teriam melhor desempenho que as duas.

Para os valores mínimos do BEES, as paredes de blocos cerâmicos são 6,81% menos impactantes que as paredes de taipa, que são 14,79% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto. Para os valores máximos, as paredes de taipa são 7,59% menos impactantes que a paredes de bloco cerâmico, que são 17,64% menos impactantes que as paredes de blocos de concreto. Para as duas faixas de valores as paredes de taipa e de bloco cerâmico estariam empatadas, seguidas da parede de bloco de concreto. Observa-se que para os valores mínimos a parede de concreto estaria também empatada com a parede de taipa, mas não com a parede de bloco cerâmico. Como a parede de taipa tem um desempenho mais próximo da parede de bloco cerâmico, optou-se por dar a elas a mesma classificação.

A Tabela 97 apresenta os *rankings* de cada método após a análise das diferenças. Como pode ser visto para os três métodos as paredes de bloco de concreto ocupam a última posição. Para os valores mínimos, tanto para o ACV-m, quanto para o IE4B, as paredes de taipa, de bloco cerâmico e de bloco de concreto estariam empatadas, possuindo desempenho ambiental bem semelhante. Para o BEES, apenas as paredes de taipa e de bloco cerâmico estariam empatadas, enquanto a de bloco de concreto possuiria um desempenho levemente pior que o delas. Para os valores máximos para o ACV-m as três paredes estariam empatadas, para o IE4B as paredes de bloco cerâmico e de bloco de concreto teriam desempenhos similares, sendo a parede de taipa melhor que elas, e para o BEES seriam as paredes de taipa e de blocos cerâmicos que possuiriam desempenhos similares, sendo a parede de bloco um pouco pior.

Tabela 97. Comparação entre os rankings das paredes pelos três métodos após avaliação de diferenças

Método	Valores mínimos				Valores máximos			
	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>	Taipa	Bloco cerâmico	Bloco de concreto	Concreto moldado <i>in loco</i>
ACV-m	1°	1°	1°	2°	1°	1°	1°	2°
IE4B	1°	1°	1°	2°	1°	2°	2°	3°
BEES	1°	1°	2°	3°	1°	1°	2°	3°

Fonte: Autora (2017).

No geral, pode-se concluir que os métodos não apresentaram grandes diferenças entre si, com relação à classificação das paredes, e que as diferenças encontradas são mínimas. Não houve nenhum caso em que para um método uma parede foi considerada menos impactante (1°) e no outro foi considerada a mais impactante (4°). As diferenças que ocorreram na classificação das paredes foram devido a diferenças mínimas, podendo essas diferenças estarem relacionadas a incertezas de cálculo, considerações de escopo ou falta de dados.

Seria interessante avaliar se a falta dos indicadores de geração de resíduos, potencial de depleção da camada de ozônio, qualidade de ar interno, e alteração de *habitat* influenciou na classificação final das paredes, ou se seria necessário incluir outra categoria de impacto no escopo mínimo do ACV-m, de forma que ele se tornasse mais confiável.

Ao longo do trabalho observou-se que as emissões de NO_x, SO_x, e materiais particulados (MP) exerceram influência significativa nas pontuações das outras metodologias. Essas emissões estão presentes nas categorias de impacto de potencial de acidificação; potencial de eutrofização; potencial de formação de *smog* e poluição atmosférica, categorias consideradas pelo BEES e IE4B. Além disso, essas emissões não são tão raras de serem encontradas na literatura, considerando-se possível que elas sejam inseridas no módulo mínimo do ACV-m, sem aumentar muito as dificuldades de obtenção de dados, mas possibilitando o melhor detalhamento das alternativas construtivas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi observado que com exceção da parede de concreto moldado *in loco*, que teve o pior desempenho para os três métodos, houve diferenças nas classificações das outras paredes. Para os valores mínimos a parede de blocos de concreto foi a de melhor desempenho para o ACV-m, para o IE4B foi a parede de taipa, e para o BEES foi a parede de blocos cerâmicos. Para os valores máximos, tanto para o IE4B quanto para o BEES, a parede de taipa foi a de melhor desempenho, mas para o ACV-m foi a parede de blocos cerâmicos. Apesar disso, as diferenças entre os desempenhos dessas paredes são mínimos para os três métodos, e elas estariam empatadas. Observou-se que essas diferenças se devem basicamente a:

- Dificuldade de classificar as paredes pelos métodos ACV-m e IE4B. Como eles não possuem uma pontuação única, foi adotado um modelo de pontuação que pode não ser o mais apropriado para todos os casos;
- Diferença na quantidade de impactos considerados por cada método. Enquanto o ACV-m teve quatro indicadores analisados, o IE4B teve oito e o BEES teve nove. Como o ACV-m possui menor número de indicadores, cada um deles exerceu maior influência na pontuação final da parede, assim, pequenas mudanças em apenas um dos indicadores já foi capaz de modificar a classificação. Outro ponto é que devido aos poucos indicadores, as diferenças de desempenho entre as paredes ficou menor, havendo maiores chances de empate;
- Diferenças nos fatores de caracterização e nas unidades de medida das categorias de impacto do IE4B e do BEES. Apesar de os dois métodos serem baseados no modelo de avaliação de impactos TRACI, eles possuem diferentes fatores de caracterização que, em geral, não influenciaram na classificação das paredes. Essas pequenas diferenças ocorrem devido ao BEES ser baseado no modelo mais antigo do TRACI 1.0, de 2002, enquanto o IE4B foi atualizado para o TRACI 2.1, de 2012.
- Como as categorias de impacto semelhantes entre os métodos apresentaram resultados próximos, conclui-se que a maior parte das diferenças nas classificações das paredes está relacionada às categorias de impacto únicas, específicas de cada método.

Com relação à avaliação de impacto das paredes, para os três métodos a fase de produção foi a mais impactante, principalmente a produção de cimento e de cal, seguida da

fase de transporte, principalmente de produtos importados como o aço, a aditivo plastificante e a microfibras de polipropileno.

Com relação à utilização dos métodos para a comparação de produtos ou sistemas, pode-se dizer que o BEES seria o mais indicado, já que ele possibilita a soma das categorias de impacto, e a sua ponderação, gerando uma pontuação única e facilitando a comparação. Por outro lado, muitos estudiosos são contrários a essa “soma”, por acreditarem que uma pontuação única mascara os impactos, e que mais importante do que comparar os produtos é identificar os pontos-chaves de impacto de cada um. Porém a ACV também tem como objetivo comparar o desempenho de produtos, de forma a auxiliar na escolha daquele com menor impacto. Assim, a definição de critérios que possibilitem a soma dos impactos em uma pontuação única se faz necessária, e, como visto neste trabalho, a falta dessa pontuação dificulta a comparação das alternativas, já que os sistemas construtivos podem ter o melhor desempenho para determinado impacto, mas o pior desempenho em outro. Além da dificuldade de soma dos impactos que também ocorreu no IE4B, o ACV-m possui o problema da pouca quantidade de impactos considerados, fazendo com que as diferenças de desempenho entre a parede menos impactante e a mais impactante fosse pequena, o que não ocorreu nos outros métodos.

É importante salientar que além de aspectos ambientais é necessária a inclusão de aspectos sociais e econômicos nessas análises, principalmente em países em desenvolvimento, onde essas questões ainda são mal-resolvidas. Aspectos sociais e econômicos podem inclusive contribuir na escolha das alternativas, quando há situações de empate para o desempenho ambiental.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- A inclusão das fases de uso e fim de vida; das categorias de impacto; e de substâncias não consideradas neste trabalho, a fim de verificar se a classificação das paredes se mantém, e qual a interferência desses elementos em cada impacto.
- A aplicação da análise de incertezas nos resultados obtidos. Como neste trabalho essa análise foi feita apenas de forma qualitativa, seria interessante identificar essas diferenças de forma estatística.
- A adição de fatores sociais e econômicos nas ACVs estudadas, possibilitando uma avaliação em maior conformidade com o conceito de sustentabilidade.
- A criação de critérios de normalização e de ponderação para as categorias de impacto, para avaliar influência deles no desempenho e na classificação das paredes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha. Subsídios para a Elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável da Cadeia Produtiva de Cerâmica Vermelha. 2016. Disponível em: http://www.abdi.com.br/Estudo/05prova_p%C3%A1gina%20%C3%BAnica%20-%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha.pdf. Acesso em: maio de 2017.

ARCELORMITTAL. **Relatório de sustentabilidade 2015**. Os desafios do aço para o futuro. Disponível em: <http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/galeria-midia/relatorios/relatorio-sustentabilidade-2015-portugues.pdf>. Acesso em: agosto 2016.

ASSIES, J.A. **A risk based approach to life-cycle impact assessment**. Jou. of Hazardous materials, 61:23-29.1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM (ABESC). **Apresentação sobre Tecnologia do Concreto**. Aperfeiçoamento Profissional. s.d. Disponível em: <http://www.abesc.org.br/Apresentacoes/Tecnologia%20do%20Concreto/Tecnologia%20do%20Concreto.swf>. Acesso em 16 jan. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Parede de Concreto: coletânea de ativos 2007/2008**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://abesc.org.br/arquivos/coletania-aditivos.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040: Avaliação de ciclos de vida, princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Brasil, 2009a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER). **Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com tijolos de cerâmica, blocos de concreto e concreto armado moldado *in loco***. Relatório final Revisado por equipe especializada. 25 de maio de 2012.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **Impact Estimator for Buildings v.5 - User Manual and Transparency Document**. September 2014. Disponível em: https://calculatelca.com/wpcontent/uploads/2014/10/IE4B_v5_User_Guide_September_2014.pdf. Acesso em: 25 de junho de 2016.

BARBOSA JUNIOR, A. F. et al. **Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil**. Revista Ibero-Americana de Estratégia, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008.

BARE, J. **TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0**. Clean Technology and Environmental Policy, 2011.

_____. **Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI)**. TRACI version 2.1 User's Guide. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-12/554, 2014.

BARRETO, L. S. S. **Avaliação ambiental e econômica de ciclo de vida da gestão de resíduos de construção e demolição**. Disposição em aterros versus valorização dentro da indústria de construção civil. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.

BENEDET JUNIOR, G. **Avaliação de Incertezas em Inventários de Ciclo de Vida**. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BINGEL, P. R., BOWN, A. R.; STURGES, J. **Sustainability of UK Masonry in Relation to Current Assessment Tools**. 7th International Masonry Conference. London, UK. 2006.

BONNET R. et al. **Simplified and reproducible building life cycle assessment: validation tests on a case study compared to a detailed LCA with different user's profiles**. Submetido ao International Conference on Sustainable Buildings, SB14 Barcelona, 4-6. Outubro 2014.

BORGES, L. V.; COLOMBO, C. R. **Construções com Terra: Alternativa voltada à sustentabilidade**, 2009. Disponível em: <http://www.blogdoalon.com/ftp/ART_150709.pdf> Acessado em 24 de maio de 2016.

BRASIL. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção** – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Parte 2. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério de minas e energia **Balanco Energético Nacional 2006**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2006_Versao_Completa.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2007**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2008**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2009**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2010**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2011**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2012**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2013**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

_____. **Balanco Energético Nacional 2014**. Rio de Janeiro 2010. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: 15 jan 2016.

BRIBIAN I.Z., USON A.A., SCARPELLINI, S. **Life cycle assessment in buildings: state of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification.** Build Environ 44:2510–2520. 2009

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A.; OMETTO, A. R. **Life cycle assessment and the environmental certification systems of buildings.** Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 7-18, jan.-jun. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v8i1.255>.

CAMARA, V.F. **Panorama das Emissões Atmosféricas das Olarias do Sul de Santa Catarina.** 2013; Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Engenharia Sanitaria e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CAMPOS, E. F. DE. **Emissão de CO2 da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. Dissertação de Mestrado.

CAMPOS, F. H. A. Análise do ciclo de vida na construção Civil: **Um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto.** Dissertação (mestrado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais: Escola de Engenharia. 2012.

CAMPOS, M. G. **Abordagem de Ciclo de Vida na Avaliação de impactos ambientais no processamento primário offshore.** 2012. 127 f. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) – UFRJ. Rio de Janeiro, 2012.

CASE. **Manuais técnicos.** Disponível em: http://www.casece.com/pt_br/Equipment/Wheel-Loaders/Pages/W20E.aspx. Acesso em: 10 jan. 2016

CASTRO, A. L. ; SANTOS, R. F. C. ; ARAUJO, G. S. **Dosagem de concreto auto-adensável para aplicação em paredes de concreto moldadas na obra.** In: 54º Congresso Brasileiro do Concreto, 2012, Maceió/AL. Anais do 54º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo/SP: Instituto Brasileiro do Concreto, 2012.

CATERPILLAR. **Manuais técnicos.** Disponível em: http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/wheel-loaders.html. Acesso em: 10 jan. 2016.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P.T. **Diálogos Setoriais Brasil e União Européia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil.** Brasília: IBICT, 2015.

CHEVALIER, J. et al: **Toward an accurate, simple and reproducible, energy and environmental balance of buildings: the Benefis Project.** Proceedings 2nd LCA Conference, 6-7 November 2012, Lille France.

CONELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 433, 2011.**

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **A indústria do aço no Brasil.** Encontro da indústria para a sustentabilidade. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/livro_cni.pdf. Acesso em: setembro 2016.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL(CBCS). **Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificado para Construção Sustentável.**

Contribuição apresentada a Rio+20, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_Posicionamentos_Plataforma%20global.pdf. Acesso em: 10 de junho de 2015.

CBCS, ABCP, Blocobrasil. **Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto**. Avaliação de Ciclo de Vida Modular. CBCS, São Paulo, 2014.

CORDOVA, M. V. **Diagnostico da poluição atmosférica no setor cerâmico estrutural do município de Morro da Fumaça**. 2007. 79 f. Monografia (Engenheiro Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental da UNESC Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2007. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2009.

CSM. **Dados técnicos de betoneira 400 litros**. Disponível em: <http://www.csm.ind.br/revenda/Produtos/Betoneiras%7C28>. Acesso em: novembro 2016.

CULTRI, C. N.; SAAVEDRA, Y. M. B.; OMETTO, A. **Indicadores sociais como subsídios para a avaliação social do ciclo de vida: uma revisão da literatura**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. Anais. São Carlos: ABEPRO, 2010.

DING, G.K. **Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: An overview**. Eco-efficient construction and building materials Life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, pp. 38-62. 2014.

DOOSAN. **Manuais técnicos**. Disponível em: <http://www.doosaninfracore.com/ce/br/construction-equipment/equipment-list/excavator/wheel-excavator/cept020000> . Acesso em 10 jan. 2016.

EeBGuide Project (2012b) **Operational guidance for life cycle assessment studies of energy efficient buildings initiative**, D1.4 Report on first expert workshop, 82 p.

EGAS, L. **Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus**. Caso Assentamento Rural Pirituba II. São Carlos, 2008. 234f. (Dissertação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB); Institut for Prospective Technological Studies (IPTS). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. European Union: 2013

ENSLIC BUILDING, Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings – **Guidelines for LCA Calculations in early design phases** (2010). Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/enslic_building_guidelines_for_lca_calculations_en.pdf. Acesso em: 15 jan. 2016

ERLANDSSON, M.; BORG, M. **Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services today practice and development needs**. Building and Environment 2003; 38:919 e3 8.

FERREIRA, C. M. **Combustíveis industriais**. In: IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo. Apostilas do Curso de Informação sobre Combustíveis e Combustão. Rio de Janeiro: IBP, 1977. p. 1-24.

FOCHS, R. G.. **Estudo comparativo entre métodos de dosagem de concretos autoadensáveis**. Porto Alegre. 2011. Dissertação. Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Univeridade Católica do Rio Grande do Sul.

FONTINELE, G. A. A. **Avaliação Social do Ciclo de Vida de Produto: Desenvolvimento de Fichas Metodológicas que Possibilitem a Pesquisa de Indicadores para as Subcategorias de impacto da parte interessada Trabalhador**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

FORD.**Manuais técnicos**.Disponível em: <http://www.fordcaminhoes.com.br/>.Acesso em 10 jan.2016.

FRASSON JUNIOR, A.; OLIVEIRA, A.L.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L.R. **Caderno Técnico Alvenaria estrutural – CT10**. Prisma. São Paulo: 2010. Disponível em: www.mandarim.com.br/download.asp?arquivo=2052008143236.pdf. Acesso em 05 jan 2016.

GALÁN-MARÍN, C.; Rivera-Gómez, C.; García-Martínez, A. **Embodied energy of conventional load-bearing walls versus natural stabilized earth blocks**. Energy and Buildings 2015, 97, 146.

GODOY, N. S.(1972).**Fundações:Notas de Aula**.Escola de Engenharia de São Carlos,São Carlos, SP.

GOOGLE EARTH- MAPAS. <http://maps.google.com.br/maps>. Acesso em: 05 jan. 2016

GRIGOLETTI, G.C.; SATTler, M. A. . **Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais na produção de aço no RS**. In: III Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2003, São Carlos. Anais do III Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos: ANTAC, 2003.

GUINÉE, J. B. et al. **Life cycle assessmentean operational guide to the ISO standards parts 1 and 2**. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML). Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science e Leiden University (CML). 2001

_____. **Life cycle assessment:past,present, and future**. Environmental Science & Technology 45:1,90-96. 2011.

HANANDEH A. E. **Environmental assessment of popular single-family house construction alternatives in Jordan**. Building and Environment 2015;92:192–199.

HOCHSCHORNER E.; FINNVEDEN, G. **Evaluation of two simplified Life Cycle assessment methods**. Int J LCA 8:119-128. 2003

HORBACH. **Dados técnicos de betoneira 400 litros**. Disponível em: <http://www.horbach.com.br/produtos/146/betoneira-400l>. Acesso em: novembro 2016.

HYUNDAI. **Manuais técnicos**. Disponível em: <http://bmchyundai.com.br/produtos/escavadeiras> . Acesso em: 10 jan. 2016.

INSTITUT DE FRANCAIS DE L'ENVIRONNEMENT (IFEN). Observation et statistiques de l'Environnement: Construction et bâtiments. 2009. Disponível em <http://www.ifen.fr/acces-thematique/activites-et-environnement/construction-etbatiments/construction-et-batiments.html>. Acesso em: 20 jan. 2016

INVIDIATA, A. ; GUTHS, S. ; LIBRELOTTO, L. **Impacto ambiental no ciclo de vida do alumínio na construção civil.** ENTAC 2014 , v. 1, p. 2675-2684, 2014.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). **Relatório de Sustentabilidade.** Brasília, 2014. Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_Sustentabilidade_2014.pdf. Acesso em: 25 jun. 2016.

INTERCEMENT. **Relatório Anual 2015.** Brasil, 2015. Disponível em: <http://www.intercement.com/sites/ra2015/web/>. Acesso em: junho 2016.

IOANNIDOU D., ZERBI, S., HABERT, G. **When more is better** - Comparative LCA of wall systems with stone. *Building and Environment*, 82:628-639. 2014

JAWORSKI, T.. **Equipamentos para Escavação** – Compactação e Transporte. 124 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 1997. Disponível em: http://www.dtt.ufpr.br/Equipamentos/Arquivos/Apostila%20de%20Equipamentos%20Digitalizada_Tadeo_Jaworski.pdf. Acesso em: 20 jan. 2016.

JCB. **Manuais técnicos.** Disponível <https://www.jcb.com/pt-br/produtos-e-solu%C3%A7%C3%B5es/p%C3%A1s-carregadeiras>. Acesso em: 10 jan. 2016.

KELLENBERGER, D. ; ALTHAUS, H. **Relevance of Simplifications in LCA of building components.** *Building and Environment*, 44, 818-825. 2009.

KRISTENSENK, H. O. **Statistical Analysis and Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data.** Project no. 2010- 56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, Work Package 2, Report no. 03, Technical University of Denmark. 2013

LASVAUX, S.; CHEVALIER, J.; PEUPOORTIER, B. **Towards the development of a simplified LCA-based model for buildings,** CIB Conference, Manchester, mai 2010

LAWSON, W.R. **Building Materials, Energy and the nvironment: Towards Ecologically Sustainable development.** The Royal Australian Institute of architects, Red Hill, ACT, p. 135. 1996.

LEVASEUR, A. et al. **Considering time in LCA: Dynamic LCA and its application to global warming impact assessments.** *Environmental Science and Technology*, 44(8), 3169-3174.2010

LONKING. **Manuais técnicos.** Disponível em: <http://www.redebrazilmaquinas.com/produtos/escavadeiras>. Acesso em 10 jan. 2016.

LOQUES, R.. **Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada do cimento portland.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Setembro. 2013.

MALQVIST, T. et al. **Life cycle assessment in buildings: the ENSLIC simplified method and guidelines.** *Energy*, 36 (4), 1900 – 1907. 2011.

MANFREDINI, C; SATTLER, A. M. **Estimativa de Energia Incorporada a Materiais de Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Sul**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n.1, p.23-37, jan. mar./ 2005.

MARCHESINI, I. A. ; MONICH,C.R. ; TAVARES,S.F. **Influência do mobiliário na busca por uma edificação mais sustentável**. In: Encontro Latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis, 2011, Vitória. IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. **Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187-201, jan./mar. 2016.

MASTELLA. D. V.. **Comparação entre os Processos de Produção de Blocos Cerâmicos e de Concreto para Alvenaria Estrutural através da Análise do Ciclo de Vida**. 2002. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MC. KINNON, A.: **Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations**. Issue 1, March 2011

MENDES,N.C. **Métodos de caracterização para a Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida**: análise e subsídios para a aplicação no Brasil. 2013. 147p. Dissertação(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,2013.

MENEGOTTI. **Dados técnicos de betoneira 400 litros**. Disponível em: <http://www.menegotti.ind.br/menmaq/produto/betoneira-profissional-400l.html>. Acesso em: novembro 2016.

MILANI, A. P. S. et al. **Análise do Processo de Produção de Paredes Monolíticas de solo estabilizado a partir do uso de mecanização**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2014, Campo Grande. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014, 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, 2ª edição**. 2014. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0237/237619.pdf. Acesso em: 13/06/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 Ano Base 2012 – Relatório Final**, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdmx/~edisp/inea0031540.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema Wood Frame no Estado do Paraná**. x f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MOURON, P., **A multicriteria decision method assessing the overall sustainability of new crop protection strategies**: the case of apple growing in Europe. In: 9th IFSA Symposium, Vienna, 2010.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. 1ª Ed., Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2002.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **BEES ONLINE**: Building for Environmental and Economic Sustainability. 2010. Disponível em: [http://ws680.nist.gov/Bees/\(A\(dXZFCZm80gEkAAAAANjc0MzRINWYtYtZzhZC00MjU4LWE1YjYtNmQ2ZDVIMjY3MTk35a8iRxxNxqHlJpXAodve-Bs_W-41\)\)/Help.aspx](http://ws680.nist.gov/Bees/(A(dXZFCZm80gEkAAAAANjc0MzRINWYtYtZzhZC00MjU4LWE1YjYtNmQ2ZDVIMjY3MTk35a8iRxxNxqHlJpXAodve-Bs_W-41))/Help.aspx). Acesso em: 25 junho de 2016.

NÚCLEO DE ESTUDOS DE ECONOMIA DE BAIXO CARBONO (EBC). **Economia de baixo carbono**: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. Ribeirão Preto: EBC-USP, 2014. 76 p. Produção de cal relatório final. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/productos/download/aep_fep/chamada_publica_baixo_carbono_cal.pdf. Acesso em: 22/01/2016.

OLIVEIRA, A. S. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, V. C. H. C. et al. **Estratégias para a minimização da emissão de CO₂ de concretos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 167-181, out./dez. 2014.

OPERATION. **Densidade dos materiais**. Disponível em: <http://www.operation.com.br/densidade-dos-materiais>. Acesso em: 12 jan. 2016.

OREGI X. et al **Integrating Simplified and Full Life Cycle Approaches in Decision Making for Building Energy Refurbishment**: Benefits and Barriers. Buildings 2015, 5(2), 354-380.

ORTIZ, O; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability in the construction industry**: A review of recent developments based on LCA. Construction and Building Materials 23, 28-39. 2009.

PARKER. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Jacareí: Parker Training, 2006.

PEHNT, M. **Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies**. Renewable Energy. 31. 55–71.2006

PELANDA, K. A. **Emissões atmosféricas provenientes do consumo de madeira como biocombustível no Paraná**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

PEREIRA, S. W. **Avaliação ambiental dos processos produtivos de pisos cerâmicos por meio de análise do ciclo de vida**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PINI. **Paredes de concreto**. Revista Técnica. São Paulo: Editora Pini. Edição 147. Junho 2009

_____. **Combustível para Maquinas**. Revista Equipe de Obra. São Paulo: Editora Pini. Edição 43. Jan 2012

PISANI, M. A. J. **Taipas**: a arquitetura de terra. Sinergia - Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, São Paulo, v. 5. n. 1. Jan/Jun de 2004.

PRé Sustainability (2016). **Handbook for Product Social Impact Assessment**, v. 3.0.

PSARAFTIS, H.N.; C.A. KONTOVAS. 2008. **Ship Emissions Study**. National Technical University of Athens. report to Hellenic Chamber of Shipping, May. Disponível em: <http://www.martrans.org/documents/2008/sft/final%20report%20v10.2.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2016

REITER, S. **Life Cycle Assessment of Buildings** – a review. Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting, Brussels, Belgium (07/07/2010), 2010, pp. 1–19.

RIGON, M. R. et al. **Desempenho ambiental de concretos de cimento portland com substituição por cinza volante**. 2014. 5º Fórum internacional de resíduos sólidos.

RODRIGUES, R. L.. Melhoria do desempenho ambiental através da avaliação do ciclo de vida na fabricação de porta pallets. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa.

ROSA, R.P. **Consumo energético para produção de blocos de concreto: estudo comparativo com blocos cerâmicos através da avaliação do ciclo de vida**. 2010. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROSSI, E. **Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil: estudo de caso**. 2013. 131p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2013.

SÁ, A.F.R., **Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética: Publindústria**, 2010.

SANSÃO J.H. **Análise Ambiental de Alvenarias em Blocos: Uma Discussão Baseada na Avaliação do Ciclo de Vida e no Desempenho Térmico de Envolórias**. 2011. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais.

SAOUTER, E.; FEIJTEL, T.C.J. **Use of Life Cycle Analysis and Environmental Risk Assessment in an Integrated Product Assessment**. Environmental Strategies. Nordic Workshop, Vedbaek 1999, ISBN 92-893-0464-2. In: Hauschild M, Olsen SI, Poll C, Bro-Rasmussen F (eds 2000): Risk Assessment and Life Cycle Assessment, TemaNord 2000:545. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 81–97. 2000

SAWAKI, Marcos Tadayoshi. **Intervalo de confiança para apreciação de reservas de óleo e gás**; 2003; 77 f; Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. 2003.

SILVA, A. L. R. T. **Desenvolvimento de fatores de normalização de impactos ambientais regionais para avaliação do ciclo de vida de produtos no estado de São Paulo**. 2010. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, B. V. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. Dissertação de Mestrado.

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo da. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. Rio de Janeiro, 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz.

SILVA, C. S. S. et al. **Avaliação ambiental de processos de pavimentação rígida e flexível a partir da análise de ciclo de vida.** In: IK Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2014, Porto Alegre – RS. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2014.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros:** diretrizes e base metodológica. 210 f. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVESTRE, J. D.; BRITO, J.; PINHEIRO, M.D. **Building's external walls in Life-Cycle Assessment (LCA) research studies.** Portugal SB10: Sustainable Building Affordable to All. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 2010

SJUNNESSON, J. **Life Cycle Assessment of Concrete.** Sweden : Lund University, 2005.

SOARES, R.S.; PEREIRA S.W. **Inventário da produção de pisos e blocos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 83-94, 2004.

SOUZA, A de. ; SALES, A. . **Inventário do ciclo de vida da areia extraída em leito de rio.** In: VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012, Rio de Janeiro-RJ e Niterói-RJ. Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2012.

SPECK, R. et al. **Life cycle assessment software: selection can impact results.** J. Ind. Ecol. 20 (1), 18e28.2015

SUH, S. et al. **System boundary selection in life-cycle inventories using hybrid approaches.** Environmental Science and Technology 38 (3) 657–664. 2004

SURAHMAN, U.; KUBOTA, T. **Development of simplified LCA model for residential buildings in Indonesia;** A pilot survey in Bandung. AIJ Journal of Technology and Design, 18, No.40: p.1003-1008. 2012.

TRELOAR, G. J.; OWEN, C. ; FAY R. **Environmental assessment of rammed earth construction systems.** Structural Survey. Vol. 19 Iss 2 pp. 99 – 106. 2001.

UGAYA, C. M. L. **Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais componentes automotivos no Brasil.** Campinas, 2001. (Tese) - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

UNEP/SETAC (2009). Life Cycle Initiative. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products. Disponível em: http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf. Acesso em: maio 2017.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling -Compression-Ignition.** Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency. Report No. NR-009d July 2010.

_____. **Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.** Disponível em: Acesso em: 15 setembro 2016.

VACULIKOVA M. et al. **Simplified and Detailed Life Cycle Assessment of a Building Replacement with Re-use of Selected Materials**. In 2014 WSB14 Barcelona. Barcelona: Green Building Council España (GBCe), 2014, p. 1-7.

VALKMA J., KESKINEN M. **Comparison of simplified LCA variations for three LCA cases of electronic products from the ecodesign point of view**. IEEE Int Symp Electron Environ 2008. doi:10.1109/ISEE.2008.4562923.

VEDACIT. Disponível em: <http://www.vedacit.com.br/produtos/adiment>. Acesso em: 15 jan. 2016.

VERALDO, A. C. Et al. **Análise do Processo de Produção de Paredes Maciças de Solo Estabilizado a Partir do Uso da Mecanização**. In: V Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil - TERRABRASIL 2014, 2014, Viçosa. ANAIS TERRABRASIL 2014.

VIANNA, F. C. **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e petrodiesel**. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2006.

VOLKSWAGEN. **Manuais técnicos**. Disponível em: <https://www.man-la.com/produtos-volkswagen/>. Acesso em: 10 jan. 2016

VOLVO. **Manuais técnicos**. Disponível em: <http://www.volvotrucks.com.br/pt-br/trucks.html>. Acesso em: 10 jan. 2016.

VOTORANTIM. **Relatório Integrado – 2015**. Brasil,2015. Disponível em: <http://vcimentos.com.br/extras/pdf/relatorio/Relatorio-Integrado-Votorantim-Cimentos-2015.pdf>. Acesso em: junho 2016.

XUE,X. et al. **Regional life cycle assessment of soybean derived biodiesel for transportation fleets**. *Energy Policy*, 48, 295-303. 2012

YANG,Y. ; HEIJUNGS, R.**A generalized computational structure for regional life-cycle assessment**. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 213-221. 2017.

APÊNDICE A – Cálculo dos fatores de emissão e energia dos insumos energéticos

Óleo Diesel

Os dados das emissões relativas à produção do diesel, ou seja, desde a extração do petróleo, passando pela importação, e pelo processo de refinamento do combustível, foram coletados em Vianna (2006). Foi considerado o consumo de energia de 2.074KJ/kg (SILVA,B., 2013). Esses valores foram somados aos impactos relativos a queima do combustível. As emissões foram diferenciadas para o uso em caminhões para transporte e para uso de equipamentos de mineração e construção.

Fatores de para transporte por caminhões

Para a fase de transporte dos produtos foram considerados dados do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2013). Foram considerados os dados de 2012, para caminhões pesados, com peso bruto máximo de 23 toneladas e capacidade de carga de 15 toneladas (média coletada em manuais técnicos da Volkswagen, 2016; Volvo, 2016; e Ford, 2016). A Tabela A.1 apresenta a energia e emissões relativas à produção e à combustão do óleo diesel, para caminhões, e o resultado total da soma desses valores.

Tabela A.1. Fatores de energia e emissão incorporados no diesel – em caminhões de transporte

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
ENTRADA (energia consumida)				
Energia	MJ	1,74 ⁽¹⁾	35,52 ⁽³⁾	37,26
SAÍDA (emissões para o ar)				
CO ₂	g	225,97 ⁽²⁾	2.603 ⁽⁴⁾	2.828,97
CH ₄	g	2,36 ⁽²⁾	0,204 ⁽⁴⁾	2,56
MP	g	0,13 ⁽²⁾	0,049 ⁽⁴⁾	0,18
NH ₃	g	0,00004 ⁽²⁾	-	0,000036
N ₂ O	g	0,001 ⁽²⁾	0,102 ⁽⁴⁾	0,10
NO _x	g	1,37 ⁽²⁾	5,61 ⁽⁴⁾	6,99
SO ₂	g	1,08 ⁽²⁾	-	1,076
SO _x	g	0,0063 ⁽²⁾	-	0,0063
H ₂ S	g	0,0002 ⁽²⁾	-	0,0002
COVNM*	g	0,86 ⁽²⁾	-	0,86

1 SILVA, 2013

2 VIANNA, 2006

3 BEN, 2014

4 Calculado com base em MMA, 2013

*COVNM- composto orgânico não metânico

Fonte: Autora (2017).

Fatores para equipamentos

Para as emissões de equipamentos como pá-carregadeira e escavadeiras foi utilizada a Resolução nº 433/2011 (CONAMA, 2011) que estabelece os limites máximos de emissões para veículos fora de estrada, apresentados na Tabela A.2.

Tabela A.2. Fatores de emissão para veículos fora de estrada

Potência P em kW	CO (g/kWh)	HC+NOx (g/kWh)	MP (g/kWh)
$130 \leq P \leq 560$	3,5	4,0	0,2
$75 \leq P < 130$	5,0	4,0	0,3
$37 \leq P < 75$	5,0	4,7	0,4
$19 \leq P < 37$	5,5	7,5	0,6

Fonte: CONAMA (2011).

A potência dos equipamentos foi obtida em manuais técnicos (DOOSAN, 2016; JCB, 2016; CASE, 2016; CATERPILLAR, 2016; e HYUNDAI, 2016), e varia em torno de 130 e 160 kW, portanto, foi considerado o intervalo de 130 a 560 kW. As emissões de CO₂ (719,39 g/kWh), SO₂ (0,82 g/kWh), HC (0,27 g/kWh) e NOx (3,73 g/kWh) foram calculadas com base no relatório *Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-Compression-Ignition*, EPA (2010) que está em concordância com a *European emission standards for engines used in new non-road mobile machinery* (NRMM), usado como base para a resolução brasileira.

Considerou-se o poder calorífico do diesel como 42.287kJ/kg ou 9,87 kWh/l (BEN, 2014). Da mesma forma que para os caminhões, foi feita a soma dos valores de energia e emissões relativo à produção do diesel e da sua combustão, por veículos fora de estrada. Esses valores e o total da soma, são apresentados na Tabela A.3.

Tabela A.3. Fatores de energia e emissão incorporados no diesel – em veículos fora de estrada

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
ENTRADA (energia consumida)				
Energia	MJ	1,74 ⁽¹⁾	35,52 ⁽³⁾	37,26
SAÍDA (emissões para o ar)				
CO ₂	g	225,97 ⁽²⁾	7.100,38 ⁽⁴⁾	7.326,34
CH ₂	g	2,36 ⁽²⁾	-	2,36
MP	g	0,13 ⁽²⁾	1,97 ⁽⁴⁾	2,11
NH ₃	g	0,00004 ⁽²⁾	-	0,00004
N ₂ O	g	0,001 ⁽²⁾	-	0,001
NOx	g	1,37 ⁽²⁾	36,85 ⁽⁴⁾	38,22
SO ₂	g	1,08 ⁽²⁾	10,89 ⁽⁴⁾	11,97
SOx	g	0,0063 ⁽²⁾	-	0,0063
H ₂ S	g	0,0002 ⁽²⁾	-	0,0002
COVNM	g	0,86 ⁽²⁾	-	0,86

1 SILVA, 2013

2 VIANNA, 2006

3 BEN, 2014

4 Calculado com base em CONAMA,2011 e EPA, 2010

Fonte: Autora (2017).

Óleo combustível

Para o cálculo da energia e emissão incorporada relativa à produção do óleo combustível foram utilizados os dados para extração e refinamento de 59,20 kg de petróleo, definidos por Vianna (2006), apresentados na Tabela A.4.

Tabela A.4. Inventário para produção de 59,20 kg de petróleo

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)	FONTE
SAÍDAS (emissões para o ar)			
CO ₂	g	14,901	VIANNA, 2006
CH ₄	g	155,62	
MP	g	8,69	
NH ₃	g	0,002	
N ₂ O	g	0,079	
NO _x	g	90,69	
SO ₂	g	71,08	
SO _x	g	0,42	
H ₂ S	g	0,012	
COVNM	g	56,89	

Fonte: Autora

Sabe-se que para produzir 11,06 litros de óleo combustível são necessários 59,20 kg de petróleo. Com posse desses dados, multiplicou-se os resultados por 19,02% (ou 0,19), que corresponde a porcentagem de óleo combustível produzido a partir do refinamento de petróleo, obtendo-se os valores relativos à produção de 11,06 litros de óleo combustível (VIANNA, 2006).

Para as emissões específicas relativas à combustão do óleo combustível foram utilizados os dados da Agência Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, constantes na publicação “*Compilation of Air Pollutants Emission Factors* - AP 42. Considerou-se as densidades do óleo combustível pesado e do óleo combustível leve, apresentado na Tabela 14. As Tabelas A.5 e A.6 apresentam os valores para a produção e combustão do óleo combustível, e a soma desses valores.

Tabela A.5. Fatores de energia e emissão incorporados no óleo combustível pesado

(continua)

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
ENTRADA (energia consumida)				
Energia	MJ	5 ⁽¹⁾	40,15 ⁽³⁾	45,15
SAÍDA (emissões para o ar)				
CO ₂	g	256,25 ⁽²⁾	3,000 ⁽⁴⁾	3.256,25
CH ₄	g	2,68 ⁽²⁾	0,12 ⁽⁴⁾	2,8
MP	g	0,15 ⁽²⁾	1,49 ⁽⁴⁾	1,64
NH ₃	g	0,000034 ⁽²⁾	-	0,000034
N ₂ O	g	0,0014 ⁽²⁾	0,0636 ⁽⁴⁾	0,065
NO _x	g	1,56 ⁽²⁾	6,6 ⁽⁴⁾	8,16
SO ₂	g	1,22 ⁽²⁾	18,84 ⁽⁴⁾	20,06
SO ₃	g	-	0,24 ⁽⁴⁾	0,24
SO _x	g	0,007 ⁽²⁾	-	0,007

Tabela A.5. Fatores de energia e emissão incorporados no óleo combustível pesado

(conclusão)

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
SAÍDA (emissões para o ar)				
H₂S	g	0,0002 ⁽²⁾	-	0,0002
COVNM	g	0,98 ⁽²⁾	-	0,98

1 SILVA, 2013
2 VIANNA, 2006
3 BEN, 2014
4 EPA, 2010

Fonte: Autora (2017).

Tabela A.6. Fatores de energia e emissão incorporados no óleo combustível leve

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/litro)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
ENTRADA (energia consumida)				
Energia	MJ	5 ⁽¹⁾	38,77 ⁽³⁾	43,77
SAÍDA (emissões para o ar)				
CO₂	g	256,25 ⁽²⁾	2.676 ⁽⁴⁾	2.932,25
CH₄	g	2,68 ⁽²⁾	0,00624 ⁽⁴⁾	2,68
MP	g	0,15 ⁽²⁾	0,24 ⁽⁴⁾	0,39
NH₃	g	0,000034 ⁽²⁾	-	0,000034
N₂O	g	0,0014 ⁽²⁾	0,0312 ⁽⁴⁾	0,0326
NO_x	g	1,56 ⁽²⁾	2,4 ⁽⁴⁾	3,96
SO₂	g	1,22 ⁽²⁾	17,04 ⁽⁴⁾	18,26
SO₃	g	-	0,24 ⁽⁴⁾	0,25
SO_x	g	0,007 ⁽²⁾	-	0,007
H₂S	g	0,0002 ⁽²⁾	-	0,0002
COVNM	g	0,98 ⁽²⁾	-	0,98

1 SILVA, 2013
2 VIANNA, 2006
3 BEN, 2014
4 EPA, 2010

Fonte: Autora (2017).

Gás natural

Primeiramente, foram calculadas as emissões relativas à produção do gás natural (extração, processamento) pelo método *offshore*, utilizando os dados do trabalho de Campos M.G. (2012). O autor deu valores totais da planta *offshore* para a produção de óleo e gás (Tabela A.7).

Tabela A.7. Consumo de petróleo e energia para a produção de óleo e gás natural

ENTRADAS	VALORES
Petróleo (t)	1.618.171,4
Energia (KJ)	1,03 x E+11
SAIDAS	VALORES
Óleo tratado (t)	232.673
Gás Natural (t)	5.562

Fonte: CAMPOS M.G. (2012).

Para calcular a energia, especificamente para a produção das 5.562 toneladas de gás natural, foi feito o procedimento de alocação seguindo o método de Vianna (2006). A partir dos

volumes de óleo e de gás natural, e do poder calorífico de cada um deles, 10.800kcal/kg e 8.800kcal/m³, respectivamente, (BEN, 2014), obteve-se uma porcentagem de alocação de 3% para o gás natural. Multiplicou-se 1,03xE+11KJ por 3% e obteve-se 3,09E+09KJ. Depois, calculou-se o consumo de energia relativo a um metro cúbico de gás natural (densidade 0,74 kg/m³).

Para as emissões relativas à combustão do gás natural, foram utilizados os dados da Agência Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, constantes na publicação “*Compilation of Air Pollutants Emission Factors* - AP 42. A Tabela A.8. apresenta os fatores para o gás natural.

Tabela A.8. Fatores de energia e emissão incorporados no gás natural

FLUXO	UNIDADE	FATORES (Unidade/m ³)		
		Produção em refinaria	Combustão	Total (considerado)
ENTRADA (energia consumida)				
Energia	MJ	0,41 ⁽¹⁾	36,84 ⁽²⁾	37,25
SAÍDA (emissões para o ar)				
CO ₂	g	7,67 ⁽¹⁾	1.920 ⁽³⁾	1.927,67
N ₂ O	g	0,000071 ⁽¹⁾	0,0352 ⁽³⁾	0,035
CH ₄	g	0,047 ⁽¹⁾	0,0368 ⁽³⁾	0,083
THC	g	0,0053 ⁽¹⁾	-	0,0053
COV	g	0,12 ⁽¹⁾	0,088 ⁽³⁾	0,21
SO ₂	g	0,00013 ⁽¹⁾	0,0096 ⁽³⁾	0,0097
MP _{2,5}	g	0,00044 ⁽¹⁾	-	0,00044
MP ₁₀	g	0,00044 ⁽¹⁾	-	0,00044
MP	g	-	0,1216 ⁽³⁾	0,12
NO _x	g	0,10 ⁽¹⁾	1,60 ⁽³⁾	1,70

1 Calculado com base em CAMPOS M. G., 2012 e VIANNA, 2006
 2 BEN, 2014
 3 EPA, 2010

Fonte: Autora (2017).

Lenha

Para o cálculo dos fatores de emissão e energia da lenha foram utilizados os dados de Pelanda (2016). Para a energia incorporada foi adotado o poder calorífico inferior da lenha de 3.100 kcal/kg (BEN, 2014). Foram considerados fatores de emissão de poluentes de atividades sem controle de poluição, já que de maneira geral as olarias não têm dispositivo de controle de emissões atmosféricas (ABDI, 2016).

Tabela A.9. Fatores de energia e emissão incorporados na lenha

FUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			BEN, 2014
Energia	MJ	12.979,08	
SAÍDAS (emissões incorporadas)			PELANDA, 2016
CO ₂	g	1.447.400,00	
CO	g	3.350,00	
SO _x	g	140,00	
NO _x	g	750,00	
MP	g	3.130,00	

Fonte: Autora (2017).

Energia elétrica

A quantificação das emissões, relativas à produção de energia, foram calculadas com base no Segundo Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010) relativo aos anos 1990 a 2005, e em Estimativas Anuais de Gases do Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2014) com dados até o ano de 2012. Esses relatórios apresentam dados relativos às emissões antrópicas devido à produção, à transformação e ao consumo de energia. Foram considerados os dados relativos às centrais elétricas de serviço público e às centrais elétricas autoprodutoras, responsáveis respectivamente por 84,9% e 15% da geração total de energia elétrica (BEN, 2014). Como os gases CO, NOx e COVNM não são diretamente ligados ao efeito estufa eles não são apresentados no relatório do MCTI (2014). Porém tais gases possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera, influenciando no efeito estufa indiretamente. Devido a isso, foram utilizados os dados de Brasil (2010), que apesar de serem antigos, referentes ao ano de 2005, foram os dados mais completos encontrados.

A Tabela A.10 apresenta os valores de emissões para os anos de 2005 a 2012.

Tabela A.10. Emissões relativas a geração de energia elétrica para os anos de 2005 a 2012

EMISSIONES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CO₂	28.909	29.123	28.128	36.737	25.135	38.469	32.907	48.372
C.E. de Serviço Publico	20.390	20.117	18.868	25.995	16.146	26.122	19.512	34.238
C.E. Autoprodutoras	8.519	9.006	9.260	10.742	8.989	12.347	13.395	14.134
CH₄	3,78	3,70	3,77	4,77	4,63	7,50	6,96	8,54
C.E. de Serviço Publico	1,07	0,99	0,61	1,23	0,46	1,30	0,80	1,81
C.E. Autoprodutoras	2,71	2,71	3,16	3,54	4,17	6,20	6,16	6,73
N₂O	0,47	0,48	0,49	0,54	0,62	0,88	0,85	0,98
C.E. de Serviço Publico	0,12	0,13	0,08	0,09	0,07	0,09	0,07	0,12
C.E. Autoprodutoras	0,35	0,35	0,41	0,45	0,55	0,79	0,78	0,86
CO	55	-	-	-	-	-	-	-
C.E. de Serviço Publico	31	-	-	-	-	-	-	-
C.E. Autoprodutoras	24	-	-	-	-	-	-	-
NOx	192	-	-	-	-	-	-	-
C.E. de Serviço Publico	147	-	-	-	-	-	-	-
C.E. Autoprodutoras	45	-	-	-	-	-	-	-
COVNM	2,6	-	-	-	-	-	-	-
C.E. de Serviço Publico	1,2	-	-	-	-	-	-	-
C.E. Autoprodutoras	1,4	-	-	-	-	-	-	-

*Valores em Gigagramas(Gg)

Fonte: Autora (2017).

Cada uma das emissões apresentadas anteriormente foi dividida pelos valores de geração de energia elétrica dos anos de 2005 a 2012 (Tabela A.11) apresentados nos relatórios BEN (2006 a 2013). Dessa forma, encontrou-se a quantidade em gramas de substância por

KWh produzido (g/KWh) em cada ano. Depois foi feita uma média dos valores, que foi considerado no trabalho (Tabela A.12).

Tabela A.11. Geração de energia elétrica no Brasil para os anos de 2005 a 2012

Ano de referência	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Energia elétrica gerada (TWh)	402,9	419,3	444,6	463,1	466,2	509,2	531,8	552,5

Fonte: Autora (2017).

Tabela A.12. Fatores de emissão da energia elétrica no Brasil para os anos de 2005 a 2012 (g/KWh)

EMISSIONES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CO ₂	71,75	69,46	63,27	79,33	53,91	75,55	61,88	87,55
CH ₄	0,0094	0,0088	0,0085	0,0103	0,0099	0,0147	0,0131	0,0155
N ₂ O	0,0012	0,0011	0,0011	0,0012	0,0013	0,0017	0,0016	0,0018
CO	0,137	-	-	-	-	-	-	-
NO _x	0,477	-	-	-	-	-	-	-
COVNM	6,45E-12	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2017).

Para o consumo de energia relativo à produção de 1KWh de energia elétrica, foi considerado o valor de 3323KJ/KWh (SILVA, B., 2013). A Tabela A.13 apresenta os dados considerados.

Tabela A.13. Fatores de energia e emissão incorporados na energia elétrica

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/KWh)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			SILVA B.V.,2013
Energia	MJ	3,323	
SAÍDAS (emissões incorporadas)			Calculado com base em BRASIL, 2010 e MCT, 2014
CO ₂	g	70,34	
CH ₄	g	0,011	
N ₂ O	g	0,00138	
CO	g	0,137	
NO _x	g	0,476	
COVNM	g	0,00645	

Fonte: Autora (2017).

Também foram coletados dados relativos às fontes energéticas utilizadas na geração de energia elétrica, e à porcentagem de contribuição de cada uma na matriz energética brasileira.

Tabela A.14. Fontes para geração de energia elétrica

FONTE	CONTRIBUIÇÃO (%)	TWh
Não Renovável		
Derivados de petróleo	4,4	26,6
Gás natural	11,3	69,0
Carvão e Derivados	2,6	15,8
Nuclear	2,4	14,6
Renovável		
Hidráulica	70,6	430,90
Biomassa	7,6	46,4
Eólica	1,1	6,6

Fonte: BEN (2014)

APÊNDICE B – Cálculo dos fatores de emissão e energia dos insumos materiais

Solo arenoso

O solo é extraído por pá-carregadeira e transportado até a obra, por caminhão basculante. Para o cálculo da energia e das emissões incorporadas, primeiramente foi necessário estimar o consumo de combustível da pá-carregadeira, utilizada para a extração do solo na jazida. A capacidade de carga média das caçambas é de 3 m³, com base na média das capacidades apresentadas em manuais técnicos das marcas Doosan (2016), JCB (2016), Case (2016), Caterpillar (2016), Hyundai (2016) e Lonking (2016). Para o cálculo do consumo de combustível da pá-carregadeira é necessário saber quanto tempo ela trabalhou para extrair o solo e o consumo horário de combustível. O cálculo da produção horária em m³(m³/h) para a pá-carregadeira foi feito com base na equação (B.1) obtida da apostila de Equipamentos para Escavação – Compactação e Transporte (JAWORSKI, 2011).

$$P_h = \frac{60 \cdot C \cdot E \cdot f}{T} \quad (\text{B.1})$$

Sendo:

- Ph = Produção horária no corte ou jazida, em m³;
- C = Capacidade coroada da caçamba, em m³. Adotou-se 3m³ (cap. média comum);
- E = Eficiência de trabalho. Adotou-se: 0,7 (para pá de rodas);
- f = Fator de correção devido ao empolamento; Adotou-se 0,79 para terra seca; e
- T = Tempo de ciclo (Tempo fixo + Tempo variável). Para o tempo fixo adotou-se 0,40min (pá de rodas). O tempo variável é calculado segundo a equação (B.2):

$$t_v = \sum. 0,06 \cdot \frac{d_n}{v_n} \quad (\text{B.2})$$

Sendo:

- n= n° de trechos (considerou-se ida carregado e volta vazio);
- dn= distância em m, no trecho n; (considerou-se distância de 20m);
- Vn= Velocidade em km/h, no trecho n; (6 km/h para ida e 12 km/h para volta); e
- tv= tempo variável total, em minutos.

O tempo variável foi de 0,3 minutos, somado ao tempo fixo de 0,4 minutos, obtendo-se um tempo total de 0,7 minutos.

Assim, a produção horária estimada é de 142,20 m³/h. Considerando a densidade do solo arenoso de 1700 kg/m³, para extrair uma tonelada de solo (0,59 m³) a pá-carregadeira trabalhou efetivamente por 0,25 minutos (0,0041 horas).

O consumo horário de combustível foi calculado com base na fórmula contida na matéria da Revista Equipe de Obra (PINI, 2012), sendo:

$$\text{Consumo horário} = \text{Potência nominal} \times \text{fator de potência} \times \text{consumo do motor} \quad (\text{B.3})$$

Em condições ideais, o consumo médio de um motor a diesel é de 0,15 l/HP.h. Considerou-se que as escavações foram realizadas em um ritmo normal, intensidade de uso média, ou seja com fatores de potência de 55%.

A potência nominal das pás-carregadeiras com capacidade de carga de 3m³ foi levantada com base em manuais técnicos e foi considerada uma média de potência de 215 HP.

O consumo horário de combustível é de 17,74 l/hora, como a pá-carregadeira trabalhou apenas 0,25 minutos (0,0041 horas) foram consumidos 0,074 litros de óleo diesel na fase de extração. Portanto, para o cálculo da energia e emissões relativas à extração do solo multiplicou-se a quantidade de combustível consumida (0,074 litros) pelos valores de energia e emissões incorporadas no diesel (Tabela A.3). A Tabela B.1 apresenta os dados relativos à extração do solo arenoso.

Tabela B.1. Fatores de energia e emissão incorporados no solo arenoso

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADAS (energia incorporada)			
Energia	MJ	2,74	BEN, 2014; VIANNA,2006.
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
CO ₂	g	539,18	Calculado com base em VIANNA,2006; CONAMA, 2001; EPA,2010.
CH ₄	g	0,174	
MP	g	0,155	
NH ₃	g	0,0000027	
N ₂ O	g	0,000088	
NO _x	g	2,81	
SO ₂	g	0,88	
SO _x	g	0,000465	
H ₂ S	g	0,000014	
COVNM	g	0,063	

Fonte: Autora (2017).

Observa-se que os dados apresentados foram feitos com base em cálculos teóricos, considerando-se condições ideais de trabalho e distâncias mínimas, apenas para possibilitar

uma estimativa do consumo de combustível. Os dados deveriam ser coletados preferencialmente no local da obra, de forma a obter resultados mais confiáveis, considerando-se todas as adversidades, como: terreno acidentado, condições do solo, distância entre o local de escavação e a disposição do material, etc., já que esses fatores influenciam no consumo de combustível.

Argila

Para o consumo de combustível para a extração da argila foram utilizados os dados de Pereira (2004). A empresa considerada em seu trabalho utiliza escavadeira hidráulica para a extração da argila, levando doze segundos para extrair uma tonelada e carregar o caminhão, e possui um consumo de combustível de 16L/h. Então, para extrair uma tonelada são necessários 0,053 litros de óleo diesel. Multiplicou-se o consumo de combustível pelos valores obtidos na Tabela A.3.

Tabela B.2. Fatores de energia e emissão incorporados na argila

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADAS (energia incorporada)			
Energia	MJ	1,97	BEN, 2014;VIANNA,2006
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
CO ₂	g	388,30	
CH ₄	g	0,125	
MP	g	0,112	
NH ₃	g	0,000002	Calculado com base em VIANNA, 2006; CONAMA, 2001; EPA,2010
N ₂ O	g	0,000064	
NO _x	g	2,03	
SO ₂	g	0,63	
SO _x	g	0,0003	
H ₂ S	g	0,00001	
COVNM	g	0,046	

Fonte: Autora (2017).

Areia

A areia é extraída nos leitos dos rios, sendo em um primeiro momento realizada extração a seco por tratores de esteira, carregadeira de pneus e retroescavadeiras, após atingir o lençol freático inicia-se o uso de dragas de sucção, movidas a óleo diesel ou eletricidade.

Para os valores de energia e emissões incorporadas foi utilizado o trabalho de Souza e Sales (2012), que produziram um ICV para areia extraída em leitos de rios. Foram considerados apenas os dados relativos às fases de extração, beneficiamento e armazenamento, que totalizam um consumo de 3,70 litros de óleo diesel para 1600kg de areia.

Portanto, para uma tonelada são consumidos de 2,31 litros de óleo diesel, esse valor foi multiplicado pelos fatores apresentados na Tabela A.3.

Tabela B.3. Fatores de energia e emissão incorporados na areia

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			
Energia	MJ	86,08	BEN, 2014;VIANNA,2006.
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
CO ₂	g	16.923,86	Calculado com base em VIANNA,2006; CONAMA, 2001; EPA, 2010
CH ₄	g	5,45	
MP	g	4,86	
NH ₃	g	0,000083	
N ₂ O	g	0,0028	
NO _x	g	88,29	
SO ₂	g	27,65	
SO _x	g	0,015	
H ₂ S	g	0,00043	
COVNM	g	1,99	

Fonte: Autora (2017).

Brita

Os fatores de energia e emissão incorporados foram retirados de Rossi (2013). O autor realizou a avaliação do ciclo de vida da brita na produção de concretos para a construção civil a partir de um estudo de caso, ele identificou indicadores quantitativos nas etapas de extração, transporte ao beneficiamento, beneficiamento, transporte do beneficiamento aos caminhões, transporte aos centros consumidores, uso e disposição final. Para este trabalho foram tomados apenas os dados até a fase de transporte do beneficiamento aos caminhões, já que para o transporte aos centros consumidores o autor considerou uma média de 50 km, que não corresponde ao valor adotado neste trabalho; e as fases de uso e disposição final não fazem parte do escopo deste estudo.

Tabela B.4. Fatores de energia e emissão incorporados na brita

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			
Energia	MJ	27,36	
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
N	g	0,16	ROSSI, 2013
CO ₂	g	616,28	
CH ₄	g	0,04	
NO _x	g	17,067	
N ₂ O	g	0,0048	
MP	g	0,078	
HCl	g	0,0029	
HF	g	0,000368	
NH ₃	g	0,000000029	
SO _x	g	0,862	
COVNM	g	3,237	

Fonte: Autora (2017).

Cimento

Para o cálculo da energia e das emissões relativas à produção do cimento foi feita uma média dos valores correspondentes aos anos de 2012 a 2015, apresentados nos relatórios de sustentabilidade de duas empresas (INTERCEMENT, 2015; VOTORANTIM, 2015) e este foi multiplicado pela faixa dos fatores de clínquer de cada tipo de cimento, estabelecidos por normas específicas. As Tabelas B.5 e B.6 apresentam os valores coletados nos relatórios, e a Tabela B.7 apresenta a média desses valores, que foram utilizados.

Tabela B.5. Fatores de energia e emissão Intercement

CONSUMO/ EMIÇÃO	UNIDADE	2012	2013	2014	2015
Energia	MJ/t. clínquer	3.655	3.619	3.623	3.689
CO₂	kg/ t. cimento	576	565	566	576
MP	g/ t. clínquer	181	143	161	113
NOx	g/ t. clínquer	1.544	1.594	1.587	1.679
SOx	g/ t. clínquer	232	261	304	298
COV	g/t. clínquer	18	27	44	36
Hg	Mg/ t. clínquer	3	5	5	21

Fonte: Autora (2017).

Tabela B.6. Fatores de energia e emissão Votorantim

CONSUMO/ EMIÇÃO	UNIDADE	2012	2013	2014	2015
Energia	MJ/t. clínquer	3.478	3542	3535	3577
CO₂	kg/ t. cimento	637,1	649,6	646,8	647,0
MP	g/ t. clínquer	143	105,20	99,44	66,86
NOx	g/ t. clínquer	1.599	2083,70	1940,85	1927,62
SOx	g/ t. clínquer	792	722,04	659,69	749,07
COV	g/ t. clínquer	11	18,71	26,78	29,76
Hg	Mg/ t. clínquer	11,4	14,47	7,95	7,56

Fonte: Autora (2017).

Tabela B.7. Fatores de energia e emissão considerados para o cimento

CONSUMO/ EMIÇÃO	UNIDADE	Média Intercement	Média Votorantim	Valores considerados
Energia	MJ/t. clínquer	3.646,5	3.533	3.589,75
CO₂	kg/ t. clínquer	570,75	645,13	607,94
MP	g/ t. clínquer	149,5	103,63	126,56
NOx	g/ t. clínquer	1.601	1.887,79	1.744,40
SOx	g/ t. clínquer	273,75	730,70	502,23
COV	g/ t. clínquer	31,25	21,56	26,41
Hg	Mg/ t. clínquer	8,5	10,35	9,42

Fonte: Autora (2017).

A Tabela B.8, apresenta o teor de clínquer + gesso de cada cimento, de acordo com as normas brasileiras, sendo que o teor de clínquer é estimado assumindo-se um teor de gesso médio de 4%.

Tabela B.8. Teor de clínquer dos cimentos considerados

SIGLA	CP II - E	CP II - F	CP V
Clínquer + gesso	56 a 94	90 a 94	95 a 100
Clínquer (sem gesso)	52 a 90	86 a 90	91 a 96
NORMA	NBR 11578 (ABNT, 1997)		NBR 5733 (ABNT, 1991b)

Fonte: Oliveira (2014).

Tabela B.9. Fatores de energia e emissão incorporados nos cimentos

TIPO	FLUXOS	UNIDADE	FATOR		FONTE	
			(unidade/ tonelada produto)			
			Min.	Max.		
	ENTRADA (energia incorporada)					
	Energia	MJ	1.866,67	3.230,78		
	SAÍDAS (emissões incorporadas)					
CP II - E	CO₂	g	316.127,50	547.143,75	Calculado com base nos Relatório de Sustentabilidade da Interceмент, 2015 e da Votorantim, 2015	
	MP	g	65,81	113,91		
	NOx	g	907,09	1.569,96		
	SOx	g	261,16	452,00		
	COV	g	13,73	23,77		
	Hg	g	0,0049	0,0085		
	ENTRADA (energia incorporada)					
	Energia	MJ	3087,19	3230,78		
	SAÍDAS (emissões incorporadas)					
CP II - F	CO₂	g	522.826,25	547.143,75		
	MP	g	108,84	113,91		
	NOx	g	1.500,18	1.569,96		
	SOx	g	431,91	452,00		
	COV	g	22,71	23,76		
	Hg	g	0,0081	0,0085		
	ENTRADA (energia incorporada)					
	Energia	MJ	3266,67	3446,16		
	SAÍDAS (emissões incorporadas)					
CP V	CO₂	g	553.223,13	583.620,00		
	MP	g	115,17	121,50		
	NOx	g	1.587,40	1.674,62		
	SOx	g	457,02	482,14		
	COV	g	24,03	25,35		
	Hg	g	0,0086	0,0090		

Fonte: Autora (2017).

O mix de energia térmica para a produção de cimento (Tabela B.10), é resultado da média dos valores dos anos de 2012 a 2015, apresentados nos relatórios da Votorantim, 2015.

Tabela B.10. Mix de energia térmica para a produção de cimento

FONTE	CONTRIBUIÇÃO (%)
Carvão	15,30
Coque de petróleo	74,50
Óleo pesado	0,50
Óleo diesel	0,30
Gás natural	0,60
Xisto e lignete	0,80
Combustíveis fosseis alternativos	3,70
Biomassa	4,30

Fonte: Autora (2017)

Cal hidratada

Para a produção da cal hidratada, foi considerado o uso de forno do tipo vertical de cuba simples, conhecido como Azbe, movido à lenha, tipologia de forno predominante no Brasil (EBC, 2014). Para os fatores de energia e emissões de CO₂ foram adotados valores apresentados pela EBC (2014) para os fornos Azbe, e para as demais emissões utilizou-se dos dados da EIPPCB, IPTS (2013), para o mesmo tipo de forno. Os gases são resultantes e variam segundo o tipo de forno, condições de funcionamento, tipos de combustíveis, características da matéria-prima e técnica de redução de emissões empregadas, dessa forma, há uma grande variação entre os valores mínimos e máximos.

Tabela B.11. Fatores de energia e emissão incorporados na cal hidratada

FLUXOS	UNIDADE	FATOR (unidade/ tonelada produto)		FONTE
		Min.	Max.	
ENTRADA (energia incorporada)				
Energia	MJ	5.303	5.860	EBC, 2014
SAÍDAS (emissões incorporadas)				
CO ₂	g	818.000	1.318.000	EIPPCB, IPTS 2013.
MP	g	2,5	625	
NO _x	g	250	1.300	
SO ₂	g	100	1.000	
HCl	g	0,05	625	

Fonte: Autora (2017).

Microfibra de polipropileno

Os fatores considerados foram retirados do trabalho de Marques, Gomes e Kern (2016), que empregaram a base de dados internacional da Ecoinvent para as emissões atmosféricas e consumo de energia na etapa de fabricação do Polipropileno.

Tabela B.12. Fatores de energia e emissão incorporados na microfibra de polipropileno

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE	
ENTRADA (energia incorporada)				
Energia	MJ	478,85	MARQUES; GOMES; KERN, 2016	
SAÍDAS (emissões incorporadas)				
CO ₂	g	1.663.200		
NO _x	g	3.287		
SO _x	g	0		
MP	g	594		

Fonte: Autora (2017).

Aditivo plastificante

Os fatores de emissões e energia consumidos para a produção do aditivo plastificante, utilizados na produção do concreto para as paredes moldadas *in loco*, foram obtidos do

trabalho de Sjunnesson (2005), que utilizou dados de Declarações Ambientais de Produtos da *European Federation of Concrete Admixture Associations (EFCA)*.

Tabela B.13. Fatores de energia e emissão incorporados no aditivo plastificante

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			
Energia	MJ	16.000	
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
CO₂	g	690.000	SJUNNESSON, 2005
NO_x	g	3.500	
SO_x	g	6.600	
CH₄	g	1.200	

Fonte: Autora (2017).

Aço

Para o consumo de energia relativo à produção de aço foi considerada a intensidade média de 20 GJ / tonelada de aço bruto, apresentada pela Worldsteel Association, valor bem próximo da realidade Brasileira (ACELORMITTAL, 2015). Para as emissões de CO₂ foi considerado o relatório de sustentabilidade do Instituto Aço Brasil (IAB, 2016) e para as demais emissões foi utilizado o relatório da Indústria do Aço no Brasil (CNI, 2012), que trás valores médios para a produção de aço bruto pelo setor siderúrgico do País.

Tabela B.14. Fatores de energia e emissão incorporados no aço

FLUXOS	UNIDADE	FATORES (Unidade/tonelada)	FONTE
ENTRADA (energia incorporada)			
Energia	MJ	20.000	ACELORMITTAL, 2015
SAÍDAS (emissões incorporadas)			
CO₂	g	1.700.000	IAB,2016
NO_x	g	1.230	
SO_x	g	2.090	CNI,2012
MP	g	780	

Fonte: Autora (2017).