

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

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA INDÚSTRIA DE
EMBALAGENS PLÁSTICAS: ESTUDO DE CASO

JEANCARLOS LUCIETTO

CAMPO GRANDE - MS

ANO 2016

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

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS: ESTUDO DE CASO

JEANCARLOS LUCIETTO

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para defesa do curso de Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Teresa Riccio Barbosa.

CAMPO GRANDE - MS

AGOSTO / 2016

FOLHA DE APROVAÇÃO



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Coordenadoria de Pós-Graduação (CPG/PROPP)



Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade Mestrado

Aos seis dias do mês de setembro do ano de dois mil e dezesseis, às catorze horas, na sala do Mestrado em Engenharia Elétrica, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos membros: Andrea Teresa Riccio Barbosa (UFMS), Odilar Costa Rondon (UFMS) e Jurandir de Oliveira Soares (UFMS), sob a presidência do primeiro, para julgar o trabalho do aluno: **JEANCARLOS LUCIETTO**, CPF 73281220134, do Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Curso de Mestrado, da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, apresentado sob o título "**Diagnóstico energético em uma indústria de embalagens plásticas: estudo de caso**" e orientação de Andrea Teresa Riccio Barbosa. A presidente da Banca Examinadora declarou abertos os trabalhos e agradeceu a presença de todos os Membros. A seguir, concedeu a palavra ao aluno que expôs sua Trabalho de Conclusão de Curso. Terminada a exposição, os senhores membros da Banca Examinadora iniciaram as arguições. Terminadas as arguições, a presidente da Banca Examinadora fez suas considerações. A seguir, a Banca Examinadora reuniu-se para avaliação, e após, emitiu Parecer expresso conforme segue:

EXAMINADOR

Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa

Dr. Odilar Costa Rondon

Dr. Jurandir de Oliveira Soares

Dra. Ana Paula da Silva Milani (Suplente)

ASSINATURA

AValiação

Aprovado
Aprovado
Aprovado

RESULTADO FINAL:

☐ Aprovação

☒ Aprovação com revisão

☐ Reprovação

OBSERVAÇÕES:

RECOMENDADO CONFORME RECOMENDAÇÕES DA BANCA

Nada mais havendo a ser tratado, a Presidente declarou a sessão encerrada e agradeceu a todos pela presença.

Assinaturas:

Presidente da Banca Examinadora

Aluno

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, a minha mãe Neusa F. S. Lucietto, meu pai Antenor Lucietto, a minha amada esposa Daiane Nascimento de Souza Lucietto e ao fruto do nosso amor, Jeancarlos Lucietto Filho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Neusa e Antenor, por sempre acreditarem no meu sucesso e pelos incentivos ao longo de toda minha vida.

A minha esposa, Daiane, pelo companheirismo, incentivo, paciência, amor e por me transmitir tranquilidade nos momentos de indecisão.

A meu filho, Jeancarlos Filho, pelo amor incondicional e pela alegria no olhar, que me fortalece e incentiva a atingir meus objetivos.

Agradeço especialmente a Prof.^a Dr.^a. Andrea Teresa Riccio Barbosa, minha orientadora nessa dissertação, pela paciência, incentivo e pela orientação clara, precisa e eficiente, fundamental para a conclusão deste trabalho.

Aos proprietários e gestores da empresa que disponibilizou os dados para a realização desta pesquisa de mestrado.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela oportunidade de aquisição de conhecimento.

Aos colegas de mestrado pelas horas de convivência e pelo compartilhamento de experiências e conhecimento.

A todos meus amigos e familiares pelo incentivo, pela preocupação e pelo carinho.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a construção desta pesquisa de mestrado, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE EQUAÇÕES	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos específicos.....	21
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 INDUSTRIAS DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS	23
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	25
2.3 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	32
2.4 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	36
2.4.1 Fator de carga e preço médio	37
2.4.2 Consumo e custo específico	39
2.5 CUSTO DA GERAÇÃO PRÓPRIA.....	40
2.6 ILUMINAÇÃO	41
2.6.1 Iluminação industrial.....	42
2.7 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA	43
2.8 COMPRESSORES DE AR	45
2.8.1 Perdas por vazamentos	46
2.8.2 Localização do tubo de aspiração.....	46
2.8.3 Filtro de aspiração sujo ou inexistente	47
2.8.4 Inexistência de inclinação nas redes de distribuição	47
2.8.5 Traçado da instalação inadequado.....	47
2.9 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE INVESTIMENTO	47
3 METODOLOGIA	50

3.1	ESTUDO DE CASO	50
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	50
3.3	PROCESSO PRODUTIVO.....	51
3.4	MÉTODO DE COLETA DE DADOS.....	52
4	RESULTADOS	56
4.1	FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	56
4.2	MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA A PRODUÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS.....	56
4.2.1	Extrusora	56
4.2.2	Impressora Flexográfica.....	58
4.2.3	Laminadora.....	59
4.2.4	Refiladoras	60
4.2.5	Corte e solda.....	61
4.2.6	Apoio.....	62
4.3	CARGA INSTALADA	63
4.4	LEVANTAMENTO DAS DESPESAS COM ENERGIA DA INDÚSTRIA	64
4.5	LEVANTAMENTO DAS DESPESAS COM O SISTEMA DE GERAÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA	66
4.6	TARIFAÇÃO DE ENERGIA	69
4.6.1	Dados levantados.....	69
4.6.2	Análise tarifária	74
4.6.2.1	Primeira análise	75
4.6.2.2	Segunda análise	77
4.6.3	Análise da demanda contratada.....	78
4.7	APLICAÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	80
4.7.1	Fator de carga	80
4.7.2	Preço médio.....	83
4.7.3	Consumo específico e custo específico.....	85
4.7.3.1	Consumo específico Extrusora 4.....	88
4.7.3.2	Consumo específico Impressora 2	89
4.8	CONTROLE DE DEMANDA.....	90
4.9	SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	98
4.9.1	Vazão de ar correspondente aos vazamentos	99
4.9.2	Deteccção de vazamentos	100
4.9.3	Potencial de economia de energia eléctrica	101

4.10	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....	104
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
6	CONCLUSÃO.....	109
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de embalagens flexíveis no Brasil.....	24
Figura 2 - Faturamento da Indústria de Embalagens flexíveis de 2006 a 2014.....	24
Figura 3 - Participação do segmento de plástico na indústria de embalagens.....	25
Figura 4 - Consumo de energia elétrica por setor.....	28
Figura 5 - Consumo de energia elétrica por sistemas industriais	29
Figura 6 - Distribuição dos custos diretos de produção em 2011.....	31
Figura 7 - Eficiência energética de lâmpadas.....	43
Figura 8 - Correção do fator de potência.....	44
Figura 9 - Divisão dos gastos envolvidos de um compressor durante sua vida útil.....	45
Figura 10 - Vista aérea da indústria com destaque para o setor de produção.....	51
Figura 11 - Fluxograma do processo de produção de embalagens plásticas.	52
Figura 12 - Visão geral de uma extrusora.	57
Figura 13 - Visão geral de uma Impressora Flexográfica.	58
Figura 14 - Visão geral de uma Laminadora.	59
Figura 15 - Visão geral de uma refiladora.....	60
Figura 16 - Visão geral de uma máquina de Corte e Solda.	61
Figura 17 - Visão geral de uma máquina do setor de apoio (Torno manual).....	62
Figura 18- Divisão de carga no setor de produção.	64
Figura 19 - Consumo de energia elétrica da indústria em kWh/mês.....	70
Figura 20 - Consumo e faturamento de energia reativa mensal na ponta (mensal).....	71
Figura 21 - Consumo e faturamento de energia reativa Fora de Ponta (mensal).	71
Figura 22 - Faturamento de energia reativa e fator de potência.	72
Figura 23 - Valores de demanda medida, contratada e o nível de tolerância.	73
Figura 24 - Faturamento de demanda e ultrapassagens.	73
Figura 25 - Opções de estrutura tarifária em análise.	52
Figura 26 - Tarifas de consumo e demanda para as modalidades verde e azul sem impostos .	74
Figura 27 - Simulação da análise tarifária para as estruturas verde e azul.....	76
Figura 28 - Faturamento anual referente aos diferentes valores de demanda simulados, considerando o histórico de demanda do período de julho/2014 a junho de 2015.....	79

Figura 29 - Economia anual referente aos diferentes valores de demanda simulados, considerando o histórico de demanda do período julho/2014 a junho de 2015.	79
Figura 30 - Fator de carga entre julho de 2014 a junho de 2015.	80
Figura 31 - Curva de demanda obtida por meio da memória de massa para o mês de abril de 2015.	81
Figura 32 - Evolução do preço médio de energia elétrica considerando a energia consumida na ponta e fora de ponta para o período de julho de 2014 a junho de 2015.	83
Figura 33 - Evolução do preço médio de energia elétrica considerando a energia consumida apenas da concessionária para o período de julho de 2014 a junho de 2015.	84
Figura 34 - Custo específico de energia elétrica da empresa estudada para o período de agosto de 2014 a junho de 2015.	86
Figura 35 - Consumo específico de energia elétrica e produção da empresa para o período de agosto de 2014 a junho de 2015.	87
Figura 36 - Curva de distribuição de frequência das demandas de energia para o mês de abril da empresa analisada.	90
Figura 37 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de março.	91
Figura 38 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de abril.	92
Figura 39 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de maio.	92
Figura 40 - Curva de distribuição de frequência das demandas de energia para o mês de abril da empresa analisada.	92
Figura 41 - Distribuição de frequência de potência da Coextrusora 06.	94
Figura 42 - Distribuição de frequência de potência da Extrusora 04.	95
Figura 43 - Distribuição de frequência de potência da Recuperadora.	95
Figura 44 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de corte e solda.	96
Figura 45 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de extrusão.	96
Figura 46 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de impressão.	96
Figura 47 - Indisponibilidade da carga para a demanda de 830 kW.	97
Figura 48 - Indisponibilidade da carga para a demanda de 830 kW referente ao mês de abril/2015.	98
Figura 49 - Ponto de vazamento 01.	100
Figura 50 - Ponto de vazamento 50.	100

Figura 51 - Aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul instalado no quadro de força dos compressores.....	101
Figura 52 - Demanda de energia elétrica proveniente dos vazamentos e potência nominal do compressor.....	102
Figura 53 - Curvas de demanda do sistema de ar comprimido durante três dias da semana e curva de demanda proveniente dos vazamentos.....	103
Figura 54 - Visão geral do sistema de iluminação da indústria.....	104
Figura 55 - Lâmpadas fluorescentes.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Taxa extra referente às bandeiras tarifárias no ano de 2015.....	34
Tabela 2. Exemplo de substituição de lâmpadas fluorescentes	42
Tabela 3- Perdas por vazamento.....	46
Tabela 4 - Levantamento de carga das extrusoras.....	57
Tabela 5 - Levantamento de carga das Impressoras Flexográficas.	58
Tabela 6 - Levantamento de carga das Laminadoras.	59
Tabela 7 - Levantamento de carga das Refiladoras.....	60
Tabela 8 - Levantamento de carga das máquinas Corte e Solda.	61
Tabela 9 - Levantamento de carga das máquinas do setor de Apoio.	62
Tabela 10. Levantamento de carga realizado na indústria.....	63
Tabela 11. Histórico de consumo de energia elétrica referente ao período de julho de 2014 a junho de 2015.	65
Tabela 12. Valores monetários referentes ao consumo de energia elétrica referente ao período de julho de 2014 a junho de 2015 (em R\$).	66
Tabela 13. Consumo de óleo diesel e geração de energia no horário de ponta para o período de julho de 2014 a junho de 2015.	67
Tabela 14. Dados para o cálculo do valor da demanda equivalente para os grupos geradores.	68
Tabela 15. Consumo e gastos anuais com lubrificantes e filtros do sistema de geração própria.	68
Tabela 16 - Dados para o cálculo do valor do custo do consumo equivalente para os grupos geradores.....	69
Tabela 17. Informações relativas à geração e utilização da energia elétrica da indústria analisada no período entre julho de 2014 e junho de 2015.	70
Tabela 18 - Informações relativas à geração e utilização da energia elétrica da indústria analisada no período entre julho de 2014 e junho de 2015.	74
Tabela 19 – Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária considerando o período de julho de 2014 a junho de 2015 para a modalidade tarifária verde.....	75

Tabela 20 - Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária considerando o período de julho de 2014 a junho de 2015 para a modalidade tarifária azul.....	76
Tabela 21 - Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária no período fora de ponta e geradores a diesel no horário de ponta.....	77
Tabela 22 - Faturamento mensal e anual para os valores de demanda considerados.....	78
Tabela 23 - Indicadores de eficiência energética para o período de julho de 2014 a junho de 2015.....	85
Tabela 24 - Dados dos produtos da extrusora 4 em que foram medidos os dados elétricos do dia 27/08/2015 ao dia 28/08/2015.....	88
Tabela 25 - Indicadores de eficiência energética para os produtos analisados considerando as diferentes bandeiras tarifárias.....	88
Tabela 26 - Dados das produções e indicadores de eficiência energética acompanhadas.	89
Tabela 27 - Simulação do valor de demanda a ser controlada.	93
Tabela 28 - Resumo das medições realizadas com o aparelho analisador de energia para algumas máquinas da empresa.....	94
Tabela 29 - Compressores de ar que alimentam o setor produtivo.	99
Tabela 30 - Medições referentes ao tempo de alívio do compressor.....	99
Tabela 31 - Comparação entre lâmpadas de vapor metálico e LED	105
Tabela 32 - Comparação entre lâmpadas tubulares fluorescentes e LED	106
Tabela 33 - Economia financeira identificada e percentual em relação ao total faturado entre julho de 2014 e junho de 2015.	109

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Despesas com energia para consumidores Azul.....	35
Equação 2 - Despesas com energia para consumidores Verde.....	35
Equação 3 - Demanda de Ultrapassagem	36
Equação 4 - Fator de Carga Médio	37
Equação 5 - Fator de Carga no horário de Ponta	37
Equação 6 - Fator de Carga no horário Fora de Ponta.....	38
Equação 7 - Preço Médio de Energia (1).....	38
Equação 8 - Preço Médio de Energia (2).....	38
Equação 9 - Consumo Específico de Energia.....	39
Equação 10 - Custo Específico de Energia (1)	39
Equação 11 - Custo Específico de Energia (2)	39
Equação 12 - Valor Presente	40
Equação 13 - Custo Anual Equivalente	40
Equação 14 - Potência da energia reativa capacitiva.....	44
Equação 15 - Período de retorno simples	47
Equação 16 - Período de retorno descontado	48
Equação 17 - Valor Presente Líquido	48
Equação 18 - Taxa Interna de Retorno	49
Equação 19 - Vazão necessária para suprir vazamentos de ar	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
C	Consumo (kWh)
C fp	Consumo fora de ponta (kWh)
C p	Consumo na ponta (kWh)
CAE	Custo anual equivalente (R\$)
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo Brasileiro
D	Demanda (kW)
D fp	Demanda fora da ponta (kW)
D p	Demanda na ponta (kW)
DAC	Demanda de potência ativa contratada (kW)
DAM	Demanda de potência ativa medida (kW)
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
Energisa	Energisa Mato Grosso do Sul – Distribuidora de Energia S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
F azul	Faturamento na modalidade tarifária azul
F verde	Faturamento na modalidade tarifária verde
FC	Fator de carga
FC fp	Fator de carga fora de ponta
FC médio	Fator de carga médio
FC p	Fator de carga na ponta
FP	Fator de potência
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
NH	Número de horas
NH fp	Número de horas fora de ponta (horas)
NH p	Número de horas na ponta (horas)
NH total	Número de horas total (horas)
PEE	Programa de Eficiência Energética
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A
PGE	Programa de Gestão de Energia
PIS	Programa de Integração Social
PM	Preço médio (R\$/kWh)
PRD	Período de retorno simples (anos)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRS	Período de retorno descontado (anos)
TC	Tarifa de consumo (R\$/kWh)
TC fp	Tarifa de consumo fora de ponta (R\$/kWh)
TC p	Tarifa de consumo na ponta (R\$/kWh)
TD	Tarifa de demanda (R\$/kW)
TD fp	Tarifa de demanda fora de ponta (R\$/kW)
TD p	Tarifa de demanda na ponta (R\$/kW)
TIR	Taxa Interna de Retorno
VP	Valor presente (R\$)
VPL	Valor presente Líquido (R\$)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
R\$	Unidade monetária em reais
MWh	Unidade de energia em megawatthora
LUX	Unidade de iluminamento em Lux
HZ	Unidade de frequência em Hertz
CV	Unidade de potência em cavalo-vapor
kW	Unidade de potência elétrica em quilowatt
N,H e D	Categorias de motores elétricos
COS ϕ	Cosseno do ângulo ϕ
V	Unidade de tensão elétrica em Volt
H	Rendimento
Vac	Unidade de tensão elétrica em Volt (em regime de corrente alternada)
CTN	Carga térmica normal
BTU/h	Unidade térmica britânica por hora
Pb	Potência da bomba hidráulica
°C	Unidade de temperatura em graus celsius
Kg/cm ²	Unidade de pressão em quilograma por centímetro quadrado
M	Unidade de comprimento em metro
Mm	Unidade de comprimento em milímetro
A	Unidade de corrente elétrica em Ampere
kVA	Unidade de potência ativa em quilovolt-ampere
kVAr	Unidade de potência reativa em quilovolt-ampere reativo
m ²	Unidade de área em metro quadrado
m ³	Unidade de volume em metros cúbico
h	Unidade de tempo em hora
mim	Unidade de tempo em minuto
kWh	Unidade de energia elétrica em quilowatthora
HP	Unidade de potência em horse power
kW/ano	Quilowatt por ano

RESUMO

LUCIETTO, J. (2016). DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS: ESTUDO DE CASO. Campo Grande, 2016. 115 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Neste trabalho é apresentado um estudo de eficiência e gestão de energia elétrica em uma indústria de embalagens e filmes plásticos. O objetivo do estudo foi identificar potenciais de economia de energia elétrica, redução de custos e perdas energéticas no processo industrial e propor um modelo de gestão energética através de indicadores para o uso eficiente de energia elétrica em consumidores industriais atendidos em alta tensão. Como vantagens tem-se a possibilidade de benefícios econômicos e operacionais para a indústria, tornando-a mais competitiva no mercado em que atua. A metodologia baseou-se em avaliações teóricas e análises técnicas do perfil consumidor de energia e das máquinas e processos industriais durante um ano, recomendando mudanças factíveis e viáveis economicamente para a eficiência energética industrial. Como resultado observou-se que a empresa economiza R\$ 84.553,00 por ano utilizando a tarifa verde aliado ao uso de sistema de geração própria de energia no horário de ponta. No entanto, existe potencial de economia anual de R\$ 3.146,00 apenas adequando o contrato de demanda. Somado a isso, na análise dos sistemas industriais observou-se possibilidade de economia R\$ 86.397,00 ao ano no sistema de ar comprimido e de R\$ 16.588,00 no sistema de iluminação. Sendo assim, o total de economia identificado representou 12,46% do faturamento de energia no período. Por fim, os indicadores de eficiência energética apontam que existe variação no custo de produção da indústria e servem de parâmetro para o monitoramento da evolução da efficientização dos processos industriais.

Palavras-chave: eficiência energética; tarifação; consumo eficiente; energia elétrica; indústria.

ABSTRACT

This paper presents a study of efficiency and power management in a packaging industry and plastic films. The aim of the study was to identify potential electricity savings, reduction of energy costs and losses in the industrial process and propose a model of energy management through indicators for the efficient use of electricity in industrial consumers supplied at high voltage. As advantages we have the possibility of economic and operational benefits to the industry, making it more competitive in the market in which it operates. The methodology was based on theoretical reviews and technical consumer profile analysis of energy and industrial machinery and processes, recommending feasible and economically viable change for industrial energy efficiency. As a result it was found that the company saves R\$ 84,553.00 per year using the green rate coupled with the use of energy self-generation system in peak hours. However, there is potential annual savings of R\$ 3,146.00 just suiting the demand contract. Added to this, the analysis of industrial systems there was potential savings R\$ 86,397.00 per year in compressed air system and R\$ 16,588.00 in the lighting system. Thus, the total identified savings represented 12.46% of energy sales in the period. Finally, energy efficiency indicators show that there is variation in industrial production cost and serve as a parameter for monitoring the evolution of the efficiency of industrial processes.

Keywords: energy efficiency; pricing; efficient consumption; electricity; industry.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia apresenta-se em constante ascensão no mundo, seja pelo acelerado crescimento dos países em desenvolvimento ou pela mudança de hábitos que as tecnologias modernas têm proporcionado às populações de países desenvolvidos¹ [GALDINO; MOTHÉ, 2007].

Buscar alternativas para melhorar a eficiência energética dos processos industriais é mais do que uma necessidade para os gestores industriais, é questão de estratégia de mercado. Neste sentido, inúmeras estratégias para o uso eficiente de energia têm sido utilizadas no setor industrial, em diversos países [ABDELAZIZ *et al.*, 2011].

A literatura tem apresentado o conceito de eficiência energética de diferentes formas, por vezes juntamente com a definição de conservação de energia. Croucher (2011) define que a eficiência energética é resultante da relação entre a energia efetivamente consumida e a energia demandada. No entanto, a conservação de energia é conseguida pela redução de fontes consumidoras de energia. Para o Ministério das Minas e Energia, a melhoria da eficiência energética em uma máquina ou processo resulta em economia de energia por meio de redução do desperdício de energia, sem impacto na atividade por ela realizada, isto é possível através da utilização de equipamentos mais eficientes ou pela racionalização do consumo [BRASIL, 2007].

No Brasil, o setor industrial foi o maior consumidor de energia elétrica nos últimos anos, o que mostra uma oportunidade para uma proposta de gerenciamento de energia elétrica neste setor. Desta forma, é possível identificar oportunidades de redução das despesas com energia elétrica através de estudo dos processos, monitoramento do consumo energético e projetos de gestão e eficiência energética.

Em 2001, durante a crise de energia elétrica no Brasil, o setor industrial percebeu o quanto é importante melhorar o uso final desta fonte de energia. Muitas indústrias sofreram restrições quanto ao uso da energia elétrica, o que resultou em uma diminuição significativa da produção. Em 2002, foi instituída pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a revisão tarifária extraordinária, com o objetivo de eliminar as diferenças entre as tarifas dos

¹ Países que têm alto nível de desenvolvimento econômico e social, tomando como base alguns critérios, como a renda *per capita* e o valor interno bruto *per capita* de cada país.

consumidores atendidos em alta e baixa tensão, de forma que se pagaria o mesmo valor pela energia, e valores diferentes para os encargos e uso do sistema de transmissão e distribuição. Com esta mudança os consumidores em alta tensão passaram a ter reajustes maiores em suas contas de energia. Com isso, as indústrias passaram a avaliar melhor os contratos de fornecimento de energia elétrica [TONIM, 2009].

A gestão de energia consiste nas ações de planejamento, análise, controle, comunicação e definição de ações aplicadas ao uso da energia em uma planta industrial [HADDAD *et. al*, 2005]. Neste contexto, a eficiência energética, do ponto de vista empresarial, é definida como o uso controlado e eficaz da energia, a fim de maximizar os lucros. É uma aplicação estruturada de uma série de técnicas que permite a organização identificar e implementar ações que reduzam o consumo e o custo com energia [BATISTA, 2013].

Sob o enfoque da conservação de energia elétrica através de seu uso racional este trabalho apresenta um diagnóstico da eficiência energética em uma indústria de filmes plásticos, localizada na cidade de Dourados, MS. O objetivo central é identificar potenciais de economia de energia elétrica e apresentá-los à empresa como uma oportunidade de redução de custo.

A análise do consumo de energia elétrica utiliza como referência o histórico de consumo de energia, da qual são extraídas informações como as características operacionais e a sazonalidade. Os resultados podem auxiliar a tomada de decisão nas questões que envolvem alterações no contrato de fornecimento de energia da empresa com a concessionária distribuidora de energia elétrica.

As alterações físicas do ambiente como a substituição de máquinas e equipamentos por modelos mais eficientes e a otimização de processos industriais visam a redução do desperdício de energia elétrica e a consequente redução do custo com a eletricidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar potenciais de economia de energia elétrica em uma indústria de filmes plásticos com o intuito de oportunizar a redução de custo através da realização de um estudo de eficiência energética.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar os contratos de fornecimento de energia elétrica e verificar se a opção contratada é a mais adequada para o perfil consumidor da empresa;
- Levantar os gastos vinculados ao sistema de geração própria de energia da indústria e sugerir cenários para a sua utilização;
- Quantificar dados dos equipamentos e do processo produtivo da indústria;
- Analisar os potenciais de economia de energia dos sistemas industriais de iluminação e de ar comprimido e sugerir alternativas para o consumo mais eficiente da energia elétrica;
- Apresentar um modelo de gestão por indicadores para o monitoramento e apoio a tomada de decisão em eficiência energética.

1.2 JUSTIFICATIVA

Desde que o petróleo foi descoberto, no final do século XIX, ele vem sendo consumido pela sociedade de forma abundante. Na década de 70 o mundo sentiu um forte impacto decorrente do embargo dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), fato que triplicou o preço do barril de petróleo em um período de sete anos, resultando na chamada crise do petróleo [MARTIN, 1992].

O Brasil sentiu os efeitos da crise no abastecimento de petróleo e no fornecimento de energia elétrica. Atualmente o país ainda sente as consequências pela falta do investimento necessário para contornar este cenário.

A demanda por energia encontra-se em constante ascensão no mundo, seja pelo crescimento acelerado dos países em desenvolvimento e seus bilhões de habitantes, seja pela mudança de hábitos que as tecnologias modernas têm proporcionado às populações de países desenvolvidos [GALDINO; MOTHÉ, 2007].

Contraposto ao aumento do consumo observam-se as instabilidades políticas e sociais dos países produtores de petróleo, cujas reservas, dentro de algumas décadas, entrarão em depleção [GUARDABASSI, 2006]. Com isso a sociedade percebeu há alguns anos que a energia não iria continuar barata e abundante como até então. Aumentando, assim, a

preocupação com as formas de se economizar energia elétrica, utilizá-la de forma inteligente e evitar os desperdícios.

Segundo IBGE (2016), o aumento médio da energia elétrica no Brasil em 2015 foi de 51%, motivado pelo aumento nos custos de geração e ao fim dos repasses de recursos do governo à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). A expectativa para 2016 é de aumento 3,7%, segundo dados do Banco Central [COPOM, 2016].

O Brasil sentiu os efeitos da crise no abastecimento de petróleo e no fornecimento de energia elétrica. E, ainda atualmente o país sente as consequências pela falta do investimento necessário para contornar este cenário.

Observa-se ainda que a demanda por energia se encontra em constante ascensão, uma vez que cada vez mais os hábitos e tecnologias modernas têm consumido mais energia elétrica [Galdino e Mothé, 2007]. Contraposto ao aumento do consumo, observam-se as instabilidades políticas e sociais dos países produtores de petróleo, cujas reservas, dentro de algumas décadas, entrarão em depleção [Guardabassi, 2006]. Com isso a sociedade percebeu a alguns anos que a energia não iria continuar barata e abundante como até então, aumentando, assim, a preocupação com as formas de se economizar energia elétrica, utilizando-a de forma inteligente e com o mínimo de desperdício.

Atualmente no Brasil tem-se observado que fatores como as condições hidrológicas não favoráveis para a geração hidrelétrica e a adoção do sistema de bandeiras tarifárias, que permite transferir os custos extras da geração termelétrica para as contas do consumidor, tem tido impactado considerável nas faturas de energia das indústrias.

Tendo em vista este cenário, em um ambiente industrial é possível identificar oportunidades de redução das despesas com energia elétrica através do estudo dos processos e desenvolvimento de projetos de gestão de eficiência energética, com o objetivo de se utilizar de forma racional. Uma das oportunidades de redução de custo, em uma primeira análise realizada foi o de consumo de energia elétrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDUSTRIAS DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

Ao longo das décadas, pudemos acompanhar o crescimento do uso do plástico e a evolução das suas aplicações. O reflexo da expansão do setor trouxe para a sociedade mais conforto, comodidade e praticidade nas tarefas cotidianas.

Em um contexto global, a produção de resinas termoplásticas² é de aproximadamente 250 milhões de toneladas, liderada pela China, que responde por 24,8% da produção mundial [ABIPLAST, 2014].

A participação brasileira na produção mundial de resinas termoplásticas é de 6,5 milhões de toneladas e representa 2,7% da produção mundial. Dentre os países da América Latina, o Brasil possui a produção mais significativa. O consumo per capita brasileiro de plástico gira em torno de 35 kg/hab, bem abaixo do observado em países desenvolvidos, onde o consumo é próximo dos 100 kg/hab. [ABIPLAST, 2014].

O setor de transformação de plásticos possui mais de 11,5 mil empresas distribuídas por todo o Brasil. Deste total 700 são empresas de grande porte, que tem o papel de direcionar a produção e o avanço tecnológico do setor, uma vez que atendem setores como indústria de alimentos, bebidas e automotiva que exigem padrões produtivos e de qualidade a nível mundial e são responsáveis por 92% da transformação de plástico nacional [ABIPLAST, 2014].

O Estado de Mato Grosso do Sul possui 53 empresas deste segmento, que empregam 1953 funcionários e representam 0,5% da produção nacional. A produção local atende principalmente os setores de alimentos, bebidas e construção civil [ABIPLAST, 2014].

Dentre os processos produtivos de transformação do plástico, a extrusão lidera com 62,8% e deste total 39,3% é empenhado na produção de filmes e embalagens flexíveis.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis (ABIEF), o setor de embalagens flexíveis registrou dados de produção de 1,857 milhão de toneladas de produtos em 2014 e o faturamento no mesmo ano fechou em R\$ 14,7 bilhões. Apesar da queda na produção sentida pelo setor de 2014 para 2015, a ABIEF prevê um crescimento de aproximadamente 0,6% e uma produção de 1,868 milhão de tonelada. Na Figura

² Produto derivado do petróleo, utilizado na produção de embalagens plásticas flexíveis.

é possível visualizar o desempenho da produção do setor nos últimos nove anos [ABIEF, 2015].

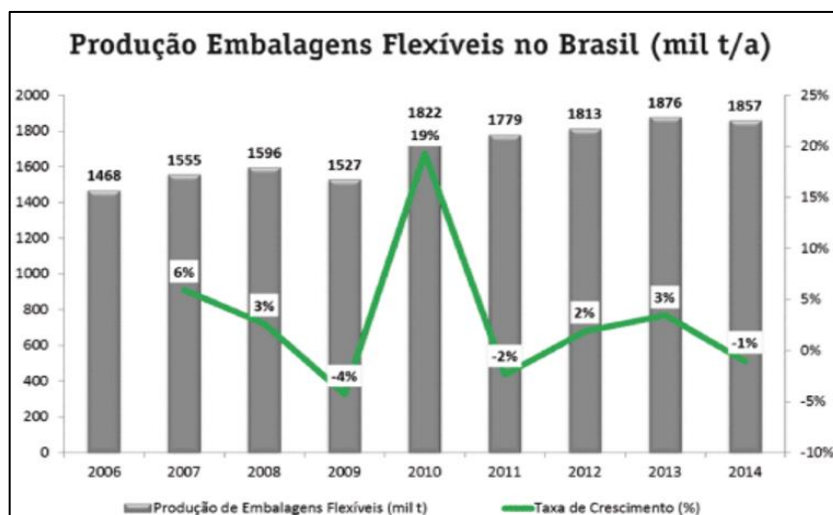


Figura 1 - Evolução da produção de embalagens flexíveis no Brasil
Fonte: ABIEF (2015).

Observa-se uma leve queda na produção em 2014 em relação a 2013. No entanto, o faturamento do setor de embalagens flexíveis no mercado nacional vem crescendo nos últimos anos, apresentando um aumento de 7,3% em 2014 em relação a 2013 (Figura 2) [ABIEF, 2015].

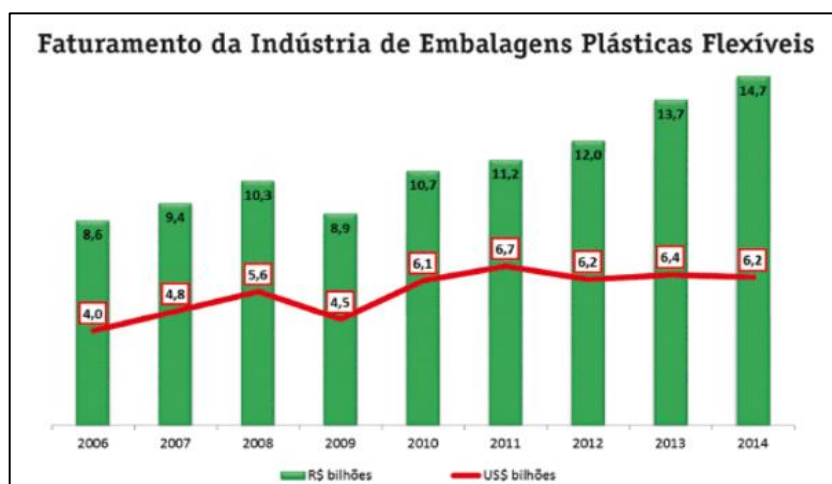


Figura 2 - Faturamento da Indústria de Embalagens flexíveis de 2006 a 2014.
Fonte: ABIEF (2015).

Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), o segmento de beneficiamento de plástico tem participação de 35% na produção física de embalagens para produtos industrializados, ficando atrás apenas do segmento de papel, papelão e cartão. A

Figura 3 apresenta a comparação entre os diferentes segmentos da indústria de embalagens [ABRE, 2015].

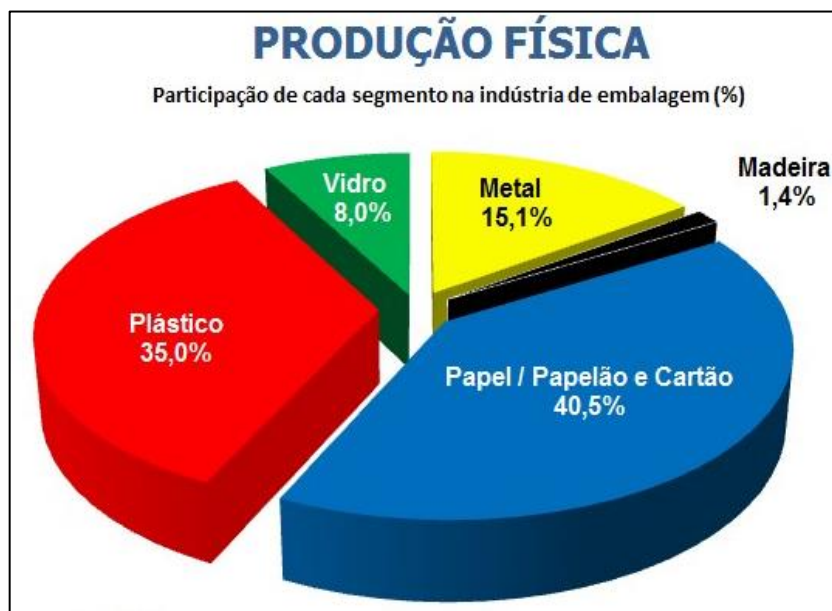


Figura 3 - Participação do segmento de plástico na indústria de embalagens
Fonte: ABRE (2015).

Destaca-se que durante a pesquisa realizada em bibliografias e periódicos sobre o consumo energético no setor de transformação de plástico, constatou-se que, dentre as fontes pesquisadas, não existem trabalhos realizados no Brasil acerca do tema disponíveis para consulta, condição que limita a apresentação de um panorama energético do setor.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As ações de eficiência energética nas indústrias tornaram-se realidade há alguns anos, uma vez que o custo da energia elétrica tem se tornado mais representativo no processo produtivo deste ramo. Acrescenta-se ainda que, a prática da gestão energética e de ações de eficiência energética tornaram-se mais importantes a partir de 2001, ano em que as indústrias se viram obrigadas a limitar o consumo, frente ao racionamento no fornecimento de energia, devido à indisponibilidade de energia elétrica [TONIM, 2009].

Recentemente, a procura pela eficiência energética é motivada pelo custo elevado dos combustíveis fósseis e demais tipos de energia e pelas mudanças climáticas. Ambos os assuntos

trouxeram argumentos que destacam a eficiência energética, uma vez que estão relacionados ao alto consumo de energia elétrica [EPE, 2010].

No Brasil, dentre as iniciativas de eficiência energética que vêm sendo desenvolvidas há mais de 20 anos, estão o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobrás) e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo Brasileiro S.A (CONPET), cuja coordenação executiva é de responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A (Petrobrás). Há também uma linha de financiamento específica para apoio a projetos de eficiência energética, o Programa de Apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), criado pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) [EPE, 2010].

O PBE fornece informações sobre a eficiência energética dos produtos, considerando atributos como o desempenho energético para que o consumidor possa tomar decisões de compra mais conscientes. Ele também estimula a produção de produtos mais eficientes, favorecendo a competitividade de produtos com melhor desempenho energético [INMETRO, 2014].

O PROCEL atua em ações dirigidas à conservação de energia elétrica através da racionalização do uso da energia elétrica e de incentivos ao desenvolvimento de produtos mais eficientes e de menor custo [CAMPOS, 2004].

O CONPET tem como principal ação racionalizar o consumo dos derivados do petróleo, reduzir a emissão de gases poluentes, promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência no uso final da energia nos setores residenciais, industriais e de transporte [CONPET, 2012].

O PROESCO, é um programa do BNDES fornecido às empresas de serviços de conservação de energia, usuários finais de energia e empresas de geração, transmissão e distribuição de energia. Através do programa são financiados empreendimentos que contribuam para a economia de energia e que aumentem a eficiência global do sistema energético, ou que promovam a substituição da utilização de combustíveis fósseis por energias renováveis [BNDES, 2012].

Ao longo desses anos, verificou-se que é possível retirar uma parcela do consumo de energia por meio de iniciativas de ações de eficiência energética [EPE, 2010]. Segundo Schaeffer (2005), são consideráveis os benefícios que o sistema elétrico brasileiro pode ter se

houver dedicação na redução do consumo de energia elétrica através de políticas de eficiência energética.

A implantação de um Programa de Eficiência Energética (PEE) é a primeira iniciativa a ser tomada, e visa diminuir os custos com a energia elétrica em uma empresa. É fundamental implantar um PEE para que as ações tomadas pela empresa não sejam isoladas e não percam seu efeito ao longo do tempo [HADDAD *et. al*, 2005].

O PEE visa a redução dos índices globais e específicos da quantidade de energia elétrica necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto. O PEE é constituído de diagnóstico energético, controle dos índices e comunicação do programa e seus resultados [OLIVIERA, 2006].

As ações de eficiência energética visam observar as condições de operação, a fim de identificar pontos de desperdício de energia ou cuja utilização pode ser racionalizada. São avaliadas as características de operação de motores, transformadores, sistema de ar comprimido e iluminação, condicionamento de ar, entre outros equipamentos e, além disso, busca-se analisar como a energia está sendo utilizada e sugerir alterações para a redução do consumo [KRAUSE, 2002].

O diagnóstico energético será o foco deste trabalho. Neste sentido, serão aprofundados assuntos como: a análise e o estabelecimento de ações no que se refere ao uso de energia de forma eficiente em uma planta industrial [HADDAD *et. al*, 2005]. Os resultados apoiarão a tomada de decisões e servirão de base para o desenvolvimento de um programa de gestão energética na indústria.

Nota-se que a eficiência energética tem um enorme potencial de contribuir para a competitividade de uma indústria, dada a quantidade de oportunidades que existem para se projetar e instalar sistemas otimizados de geração e consumo de energia. É, portanto, uma aplicação estruturada de uma série de técnicas de gestão de consumo que permite a organização identificar e implementar ações que reduzam o custo com energia [BATISTA, 2013].

Segundo Morales (2007), a gestão energética está ligada ao uso eficiente da energia e depende de dados a respeito do histórico de consumo de energia elétrica da unidade por uso final, utilizados posteriormente para o monitoramento e a verificação das ações implementadas. As informações fornecidas a partir de levantamentos nas unidades, podem ser utilizadas para gerir indicadores que poderão ser utilizados para a identificação do potencial de economia e da tendência de mudança no comportamento.

Para Sobrinho (2011), o uso eficiente da energia deve diminuir os custos, aumentar o lucro e melhorar a posição competitiva, pois o retorno financeiro é o principal resultado de um sistema de gestão energética bem-sucedido.

Para o setor industrial, a energia é um insumo essencial. É sempre possível reduzir os gastos com os insumos de produção, neste sentido, uma das ações é atuar para diminuir os gastos com energia elétrica, reduzindo assim o preço final do produto ou serviço prestado [TONIM, 2009].

O consumo industrial de energia elétrica compreende, em média, a 55% do consumo total dos três setores (comercial, industrial e residencial), o que denota a importância em se atuar para diminuir a demanda de energia desse setor.

No Brasil, o setor industrial foi o maior consumidor de energia elétrica nos últimos anos, o que mostra uma oportunidade para uma proposta de gerenciamento de energia elétrica neste setor, como pode ser verificado na Figura 4. No setor industrial os motores elétricos respondem pelo maior percentual do consumo de eletricidade, conforme Figura 5.

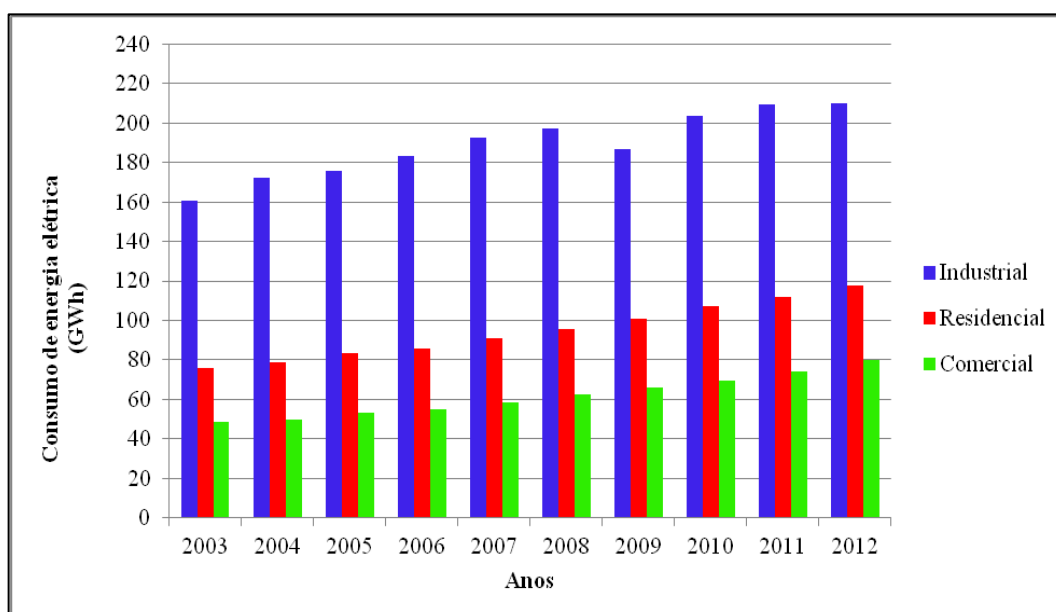


Figura 4. Consumo de energia elétrica por setor.
Fonte: Adaptado de EPE, (2013).

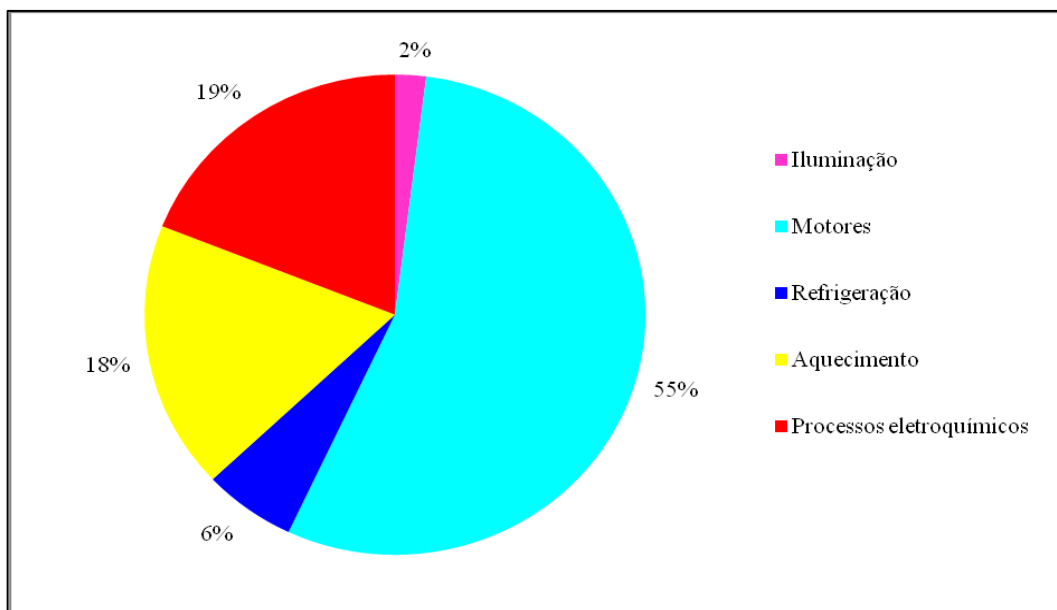


Figura 5. Consumo de energia elétrica por sistemas industriais

Fonte: Adaptado de Barbosa, (2010).

Na indústria, os motores elétricos estão presentes no acionamento de cargas mecânicas, tais como: ventiladores, bombas, compressores, esteiras, e demais máquinas. Na indústria nacional a potência instalada em sistemas eletromotrizes corresponde a uma parcela importante da carga industrial, sendo um elemento potencial de economia de energia elétrica.

Ainda sobre o potencial de economia de energia elétrica, foi estimado que este possa atingir cerca de R\$ 7 bilhões por ano, sendo grande parte concentrado em sistemas motrizes, o equivalente a cerca de 14% do potencial [MME & EPE, 2007].

Apesar do setor industrial ter o maior potencial de eficiência energética, a maioria das ações tem se concentrado nos setores residencial e comercial, setores estes que respondem por cerca de 36% do total da energia consumida. Direcionar as ações para o setor industrial geraria benefícios para toda a sociedade, uma vez que o custo médio do MWh economizado é inferior ao custo da expansão do sistema de geração de energia [CNI, 2009].

No chão de fábrica, uma boa gestão energética pode ser obtida através da otimização do planejamento da produção. Por exemplo, é possível diminuir o tempo de funcionamento de equipamentos que consomem mais energia, ou evitar que equipamentos de grande potência entrem em operação juntos [NOGUEIRA, 1991].

Enfim, segundo Batista (2013), a gestão energética vai além da conservação de energia, busca também reduzir o custo da energia, o que não implica necessariamente em reduzir o consumo. A finalidade é reduzir o custo com a energia e aumentar a produtividade, a partir do

monitoramento de grandezas como tensão, corrente e potência. A redução do custo de energia se dá otimizando os contratos de fornecimento de energia, ajustando o padrão de consumo e ultrapassagens [OLIVEIRA, 2006].

A seguir serão apresentados casos em que foram implantadas ações de eficiência energética. As análises compreenderam a aplicação de tecnologias, avaliação da modalidade tarifária, análise de demanda e fator de potência. Os casos apresentados são exemplos que, como simples ações de gestão, associadas a modernização tecnológica, pode-se obter significativas economias de energia sem prejudicar o processo produtivo.

Em Gomes (2009) foram apresentadas soluções em automação para eficiência energética em ambientes comerciais e industriais. Realizaram-se pesquisas sobre os equipamentos e dispositivos encontrados no mercado que poderiam ajudar na redução do consumo de energia elétrica. Foram abordados os mecanismos mais comuns utilizados na redução do consumo referentes à iluminação nos setores residencial e comercial, como a aplicação de sensores de presença e comutadores fotoelétricos. No sistema de condicionamento de ar foram abordados sistemas como termostatos e controladores automáticos de climatização que são os mais empregados na economia de energia. No acionamento de máquinas elétricas foram apontadas tecnologias como: chaves de partida estática e inversores de frequência, que permitem redução no consumo de energia em motores de indução trifásicos. O estudo descreve o gerenciamento de energia e faz uma ampla explicação sobre a utilidade dos Controladores Lógicos Programáveis – CLP para um controle eficiente, tratando-se de projetos automatizados.

Em Salomão (2010) foram avaliados os potenciais de economia de energia elétrica em plantas industriais através da análise de projetos de iluminação. No trabalho, foram analisados os sistemas luminotécnicos instalados em ambientes industriais, e a partir disso, foram sugeridas alternativas para o consumo eficiente de energia. Para a análise da eficiência foi utilizada a metodologia do Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CCVA), que trouxe como resultado que a adoção de sistemas de iluminação mais eficientes, apesar do custo maior de implantação, é viável a longo prazo.

Oliveira (2015) realizou um projeto de eficiência energética em uma indústria de lubrificantes. O objetivo do estudo foi contribuir com a redução de perdas energéticas durante o processo industrial, além de proporcionar ao consumidor benefícios econômicos, operacionais e de segurança, tornando-o competitivo no mercado onde atua, uma vez que a atividade industrial é a maior consumidora de energia, dentre todos os setores da economia. A metodologia baseou-se em avaliações teóricas e em ações técnicas com acompanhamento das

atividades produtivas, recomendando mudanças visando a eficiência energética através da aplicação de técnicas e tecnologias aplicadas na indústria. Como resultado foi sugerido investimento de R\$ 29.416,00, com índices de *payback* 4,9 anos, VPL de 56.137,86 e TIR de 53%. Este investimento resultará em uma redução de R\$ 6.000,00 mensais na fatura de energia elétrica, 40,72% da média total gasto pela indústria.

Segundo Vasconcelos (2012), a gestão do consumo de energia elétrica na indústria é um fator imperativo para a competitividade, pois possui grande impacto nos custos de produção (Figura 6), fator que permite garantir a sustentabilidade do negócio. Com esta premissa, o autor desenvolveu um estudo em uma fábrica de embalagens plásticas situada em Vale de Cambra – Portugal, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e eliminar desperdícios de energia. Na metodologia foram utilizados conceitos de *lean manufacturing* e, a partir disso, implementou-se uma política de melhoria contínua na gestão energética da fábrica, fundamentada na ISO 50001. Para a redução do consumo de energia foram analisados o processo produtivo e as máquinas existentes, e pesquisou-se processos e máquinas mais eficientes para a substituição. Esta análise permitiu encontrar uma vasta quantidade de oportunidades de melhoria. Como resultado, foram elaborados procedimentos de trabalho para cada uma das máquinas, contendo o passo-a-passo para o uso de forma energeticamente eficiente. Como exemplo, apenas no sistema de ar comprimido foram identificados 74 pontos de vazamento, que resultavam em 20% de desperdício de todo o ar gerado nos compressores de ar. O autor conclui que a aplicação de ações corretivas, somada a sensibilização das equipes de trabalho para o monitoramento dos processos são fatores fundamentais para a melhoria na eficiência energética da fábrica.

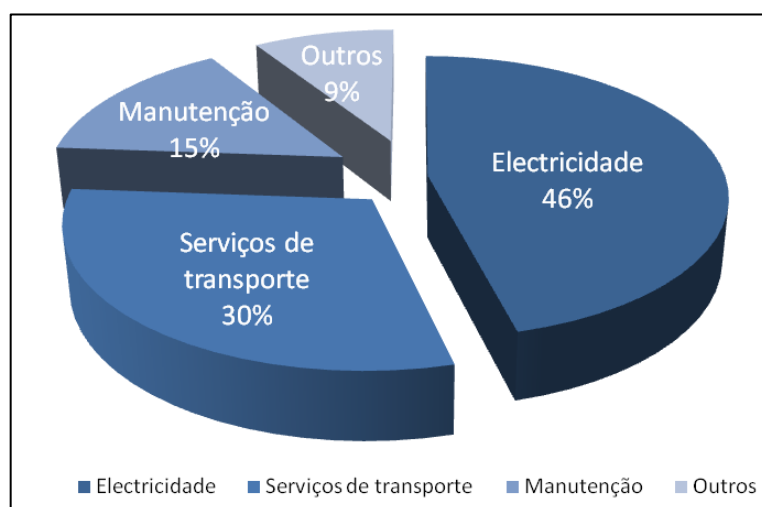


Figura 6 - Distribuição dos custos diretos de produção em 2011.

Fonte: VASCONCELOS (2012)

2.3 TARIFICAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A compreensão da estrutura tarifária e dos cálculos dos valores expressos nas faturas de energia elétrica é um parâmetro essencial para a tomada certa de decisão em projetos de conservação de energia. A análise que compõe esta estrutura é indispensável para uma decisão quanto ao uso eficiente da energia [SANTOS, 2006].

A fatura de energia é um resumo dos parâmetros de consumo que retrata a forma como ela está sendo utilizada. A análise histórica, com no mínimo 12 faturas, apresenta um quadro rico de informações e torna-se a base de comparações para futuras mudanças, procurando medir os potenciais de energia e de economia [SANTOS, 2006].

A análise da estrutura tarifária permite que o instrumento contratual da energia se ajuste às necessidades do consumidor, o que pode reduzir as despesas com a energia elétrica [SANTOS, 2006]. Também possibilita o entendimento dos parâmetros de consumo de uma determinada unidade consumidora. Esta análise permite verificar a necessidade de ajuste do contrato de fornecimento de energia de forma a reduzir os custos com energia elétrica.

A resolução nº 414 de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica no Brasil.

O custo da energia elétrica sofre influência de vários fatores, dentre eles os níveis de tensão de fornecimento, que estão divididos em dois grupos: baixa e alta tensão. Quanto maior a tensão, mais barata é a tarifa de energia elétrica [ANEEL, 2010].

Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia, aquela que é constituída por valores aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável³. O grupo A é subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- b) subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- c) subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
- d) subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- e) subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;

³ É a maior demanda, comparando-se a demanda medida e a demanda contratada.

f) subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B: agrupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV. Este grupo é caracterizado pela tarifa monômnia que consiste em um valor aplicado apenas ao consumo de energia elétrica ativa. O grupo B é subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1 – residencial;
- b) subgrupo B2 – rural;
- c) subgrupo B3 – demais classes;
- d) subgrupo B4 – Iluminação Pública

As modalidades tarifárias buscam repassar a variação do custo de produção ao consumidor através dos preços, ou tarifas de consumo e de demanda de energia, como forma de induzir o comportamento diário e semanal do uso da energia. Estas tarifas foram criadas de maneira que em horários onde a demanda pelo sistema elétrico é maior, seus preços também são maiores. Do mesmo modo, nos dias e horários em que a demanda pelo sistema elétrico é menor, os preços das tarifas também são menores.

A modalidade tarifária convencional aplica valores de tarifa para a demanda e consumo, não havendo distinção entre horário de ponta e fora de ponta.

A modalidade tarifária horária verde, por sua vez, é caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo para o horário de ponta e fora de ponta, no entanto, possui somente uma única tarifa de demanda, já a modalidade tarifária horária azul aplica diferentes tarifas de consumo e demanda na ponta e fora de ponta. No Mato grosso do Sul, sob a concessão da ENERGISA, o horário de ponta é adotado das 17h30min até as 20h30min e o horário fora de ponta, o restante das horas.

O enquadramento tarifário depende do nível de carga da unidade consumidora e da demanda utilizada. Se o valor da demanda for menor que 300 kW e a tensão de fornecimento inferior a 69 kV, a unidade consumidora pode optar pelos três tipos de tarifação: convencional, verde e azul. Para tensões inferiores a 69 kV e demanda maior ou igual a 300 kW, a unidade consumidora pode se enquadrar na estrutura horária azul ou verde e se a unidade consumidora está conectada a uma tensão igual ou superior a 69 kV somente poderá optar pela modalidade azul [BARROS *et. al*, 2010].

Basicamente a escolha entre uma modalidade ou outra se dá por meio da observação do fator de carga da unidade, este que é dado pela relação entre o consumo de energia e a demanda

multiplicada pelo número de horas. Para um fator de carga $>0,7$ no horário de ponta a modalidade azul é a mais interessante, isto porque a tarifa de consumo na ponta desta modalidade é mais baixa, porém a demanda é alta, tornando a azul mais interessante. Logo para as unidades consumidoras com um consumo baixo na ponta a verde é a que apresenta maior viabilidade já que só se paga demanda em apenas um horário (ponta ou fora de ponta).

Em 2015, uma mudança no modelo tarifário brasileiro, no que se refere ao período seco e úmido entrou em vigor. A partir deste ano, fica estabelecido o sistema de bandeira tarifária, que é dividido nas cores verde, amarela e vermelha. A bandeira verde representa que há condições favoráveis de geração de energia, a amarela indica condições de geração menos favoráveis e a vermelha, condições mais custosas para a geração de energia elétrica. A bandeira em vigor é informada aos consumidores durante o ano [ANEEL, 2015]. A taxa cobrada para cada uma das bandeiras pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Taxa extra referente às bandeiras tarifárias no ano de 2015.

Bandeira	Condição	Custo
Verde	Favorável para a geração de energia	Zero
Amarela	Menos favorável para a geração de energia	R\$ 2,50 a cada 100kWh
Vermelha	Custo da energia mais elevado	R\$ 4,50 a cada 100kWh

Fonte: ANEEL (2015)

Com a adoção das bandeiras tarifárias, a tarifação deixa de depender dos dados de geração do ano anterior, que definiam o período seco e úmido, para caracterizar o status atual da geração, no modelo de bandeiras nas cores verde, amarelo e vermelho, associado às variações do custo marginal de operação no mesmo ano. Assim, o consumidor perceberá a variação do preço de liquidação da segurança energética no processo tarifário no mesmo ano, ao invés do ano seguinte, como no modelo anterior [ANEEL, 2015].

Uma forma de reduzir a dependência da energia fornecida pelas concessionárias é a utilização de unidades de geração própria de energia pelo consumidor. Esta unidade de geração própria pode ser ativada em períodos onde o custo da energia é mais elevado ou em situações de emergência, como a falta de fornecimento pela concessionária. O custo elevado de manutenção e o aumento da poluição são fatores a serem considerados na aquisição de uma unidade de geração própria, pois os insumos utilizados normalmente são provenientes de fontes de energia não renováveis,

Porém mesmo assim, muitas indústrias que necessitam trabalhar no horário de ponta fazem o uso de geradores a diesel, isto porque o valor do MWh está em torno de 700 a 800 reais, sendo portanto inferior à tarifa de consumo no horário de ponta.

Para a análise do custo da energia é necessário a apresentação das equações utilizadas para a obtenção das despesas associadas ao fornecimento de energia pela concessionária, e o custo da geração própria de energia. A Equação 1 e Equação 2 serão utilizadas para a determinação das despesas com energia para os consumidores enquadrados na modalidade tarifária azul e verde, respectivamente [BATISTA, 2013].

Equação 1

$$F_{Azul} = TC_P \cdot C_P + TC_{FP} \cdot C_{FP} + TD_P \cdot D_P + TD_{FP} \cdot D_{FP}$$

Onde:

F_{Azul} - Faturamento modalidade tarifária azul [R\$]
 TC_P - Tarifa de consumo na ponta [R\$/kWh]
 C_P - Consumo na ponta [kWh]
 TC_{fp} - Tarifa de consumo fora da ponta [R\$/kWh]
 C_{fp} - Consumo fora ponta [kWh]
 TD_P - Tarifa de demanda na ponta [R\$/kW]
 D_P - Demanda na ponta [kW]
 TD_{fp} - Tarifa de demanda fora da ponta [R\$/kW]
 D_{fp} - Demanda fora da ponta [kW]

Equação 2

$$F_{Verde} = TC_P \cdot C_P + TC_{FP} \cdot C_{FP} + TD \cdot DAC$$

Onde:

F_{verde} - Faturamento modalidade tarifária verde [R\$]
 TC_P - Tarifa de consumo na ponta [R\$/kWh]
 C_P - Consumo na ponta [kWh]
 TC_{fp} - Tarifa de consumo fora da ponta [R\$/kWh]
 C_{fp} - Consumo fora ponta [kWh]
 TD - Tarifa de demanda [R\$/kW]
 DAC - Demanda contratada [kW]

Existem diferenças entre a demanda medida (DAM), a demanda faturável, a demanda contratada (DAC) e a demanda de ultrapassagem (DU). A demanda medida é a maior demanda de potência ativa verificada em uma medição, integralizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento. A demanda contratada consiste na potência ativa continuamente

disponibilizada pela distribuidora, no ponto de entrega, conforme o valor e o período de vigência fixados no contrato [ANEEL, 2010].

A demanda faturável será a maior entre a medida e a contratada. Caso a demanda registrada seja maior que a tolerância haverá cobrança por ultrapassagem de demanda, é permitido que o consumidor utilize até 5% a mais da demanda contratada, caso contrário, pagará uma multa, que incide sobre a diferença entre o que foi registrado e o que foi contratado vezes o dobro da tarifa de demanda (Equação 3) [ANEEL, 2010].

$$DU = (DAM - DAC) \cdot 2 \cdot TD$$

Equação 3

Onde:

DU - Valor correspondente à demanda de potência ativa excedente [R\$]

DAM - Demanda de potência ativa medida [kW]

DAC - Demanda de potência ativa contratada [kW]

TD - Tarifa de demanda [R\$/kW]

2.4 INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Analisar o histórico das faturas de energia elétrica não é suficiente para definir uma empresa quanto à eficiência energética em seus processos. Isto ocorre, principalmente, pela forma como a energia é utilizada na produção da empresa. Neste sentido, para classificar a eficiência energética de uma unidade consumidora, define-se que, quando uma indústria consegue fabricar o mesmo produto ou desenvolver o mesmo serviço, com uma demanda ou consumo de energia menor, esta realizou o processo com maior eficiência energética. Os indicadores mais utilizados para o desempenho energético são: o fator de carga, o preço médio, o consumo específico e o custo específico da energia elétrica [BATISTA, 2013].

2.4.1 FATOR DE CARGA E PREÇO MÉDIO

O fator de carga é um indicador que permite ao gestor de energia identificar se a energia elétrica disponibilizada pela concessionária está sendo bem utilizada. É um índice que varia entre zero e um e representa uma relação entre o consumo de energia e a demanda em um determinado espaço de tempo [KRAUSE 2002].

Um fator de carga mais próximo de “um” significa que as cargas elétricas estão sendo utilizadas de forma racional ao longo do tempo, já um valor abaixo de “um” por sua vez, indica a existência de picos de demanda em curtos períodos de tempo, o que sinaliza que a energia elétrica não está sendo utilizada de forma uniforme [OLIVEIRA, 2006].

A demanda média, consiste na relação direta do consumo pelo tempo. Quando a demanda máxima é igual à demanda média, o fator de carga é igual à “um”. Isso significa um menor investimento em circuitos de energia, uma vez que o dimensionamento dos condutores, chaves, transformadores e demais equipamentos é realizado em função da demanda máxima de energia.

O tempo estipulado para o cálculo do fator de carga é 730 horas por mês, que é igual ao número médio de horas em um mês, calculado pelo número de horas no ano dividido por número de meses. Definido o número de horas a serem considerados, para consumidores enquadrados nas tarifas horo-sazonal verde e azul, pode-se calcular o fator de carga através da Equação 4, Equação 5 e Equação 6 [HADDAD *et. al*, 2005].

Equação 4

$$FC_{\text{médio}} = \frac{C}{D \cdot NH_{\text{Total}}}$$

Onde:

FC_{médio}-Fator de carga médio

C - Consumo [kWh]

D - Demanda (kW)

NH_{Total} - Número de horas [horas]

Equação 5

$$FC_{\text{ponta}} = \frac{C_p}{D \cdot NH_p}$$

Onde:

FC_p - Fator de carga na ponta

C_p - Consumo na ponta [kWh]

D_p - Demanda na ponta [kW]

NHP - Número de horas no horário de ponta [horas]

$$FC_{FP} = \frac{C_{FP}}{D_{FP} \cdot NH_{FP}}$$

Onde:

FCfP - Fator de carga fora de ponta

Cfp - Consumo fora de ponta [kWh]

Dfp - Demanda fora de ponta [kW]

NHfp - Número de horas no horário fora de ponta [horas]

Segundo Oliveira (2006), deve-se verificar o valor do fator de carga nas últimas 12 faturas de energia elétrica. Através da análise destes dados, observam-se os meses onde o fator de carga está mais próximo de “um”, avaliam-se os fatos ocorridos no período e otimiza-se a gestão para que se mantenha o fator de carga neste valor.

Considerando as diferentes formas de utilização da energia, e sua associação com o fator de carga, consumidores de uma mesma modalidade tarifária, sujeitos às mesmas tarifas, podem apresentar preços médios de energia diferentes [HADDAD *et. al*, 2005]. Neste sentido, o preço médio pode ser calculado utilizando-se as Equação 7 e Equação 8. Observa-se que quanto maior o fator de carga, menor é o preço médio da energia elétrica pago pela unidade consumidora.

$$PM = \frac{Faturamento}{C}$$

Onde:

PM - Preço médio [R\$/kWh]

Faturamento - Fatura de Energia Elétrica [R\$]

C - Consumo total de energia elétrica [kWh]

$$PM = \frac{Faturamento}{D \cdot NH \cdot FC}$$

Onde:

PM- Preço médio [R\$/kWh]

Faturamento - Fatura de Energia Elétrica [R\$]

D - Demanda de energia Elétrica [kW]

NH - Número de horas [horas]

FC - Fator de carga

2.4.2 CONSUMO E CUSTO ESPECÍFICO

O consumo específico define o total de energia elétrica para o processamento de determinado produto ou prestação de um serviço (Equação 9). Este fator possibilita o acompanhamento do desempenho energético da indústria ao longo do tempo, bem como a comparação entre outras unidades consumidoras que atuam no mesmo segmento [HADDAD *et. al*, 2005].

Equação 9

$$\text{Consumo específico} = \frac{C}{P}$$

Onde:

C - Consumo total de energia elétrica [kWh]

P - Produção [toneladas ou quilogramas]

Quando o consumo não depende da produção, como no caso de sistemas de iluminação, recomenda-se a criação de mais de um consumo específico, sendo um global e outros específicos por setor ou máquina. É importante observar que as ações de gestão energética buscam a redução do consumo específico, e não necessariamente a redução do consumo de energia elétrica [HADDAD *et. al*, 2005].

Outro indicador que deve ser obtido para a gestão energética é o custo específico, calculado utilizando a Equação 10 e Equação 11.

Equação 10

$$\text{Custo específico} = \frac{\text{Faturamento}}{P}$$

Onde:

Faturamento - Fatura de Energia Elétrica [R\$]

P - Produção [toneladas ou quilogramas]

Equação 11

$$\text{Custo específico} = PM \cdot \text{Consumo específico}$$

Onde:

PM – Preço médio da energia elétrica [em R\$ por tonelada ou R\$ por quilograma]

Para reduzir o custo específico é necessário um menor preço médio ou consumo específico. De acordo Haddad *et. al* (2005), a redução do consumo específico pode ser realizada

diminuindo-se a potência consumida (W), por meio da utilização de equipamentos mais eficientes ou o tempo de funcionamento da máquina.

Para a obtenção de menores preços médios deve-se possuir contratos de demanda adequados, transferir cargas do horário de ponta para o horário fora de ponta, utilizar o melhor enquadramento tarifário disponível e evitar o pagamento por excedentes reativos [HADDAD *et. al*, 2005].

2.5 CUSTO DA GERAÇÃO PRÓPRIA

Para se determinar custo da geração própria⁴ de energia elétrica é necessária a utilização de equações da matemática financeira. Com os dados do grupo gerador, o Valor Presente (VP) do Investimento Total (IT) e do Valor Residual ao final de sua vida útil (VR), obtém-se o custo de geração através da Equação 12. As parcelas anuais podem ser obtidas utilizando-se a Equação 13 [LIMA, 2003].

$$VP = \frac{F}{(1 + j)^n}$$

Equação 12

Onde:

VP - Valor presente [R\$]

F - Valor futuro do investimento [R\$]

j - Taxa de juros [a.a]

n - Número de período [anos]

$$CAE = VP1 \left[\frac{j \cdot (1 + j)^n}{(1 + j)^n - 1} \right] - VP2 \left[\frac{j \cdot (1 + j)^n}{(1 + j)^n - 1} \right]$$

Equação 13

Onde:

CAE - Custo anual equivalente [R\$]

VP1 - Valor presente do investimento total [R\$]

VP2 - Valor presente do valor residual do grupo gerador [R\$]

j - Taxa de juros [a.a]

n - Número de período [anos]

⁴ Geração de energia elétrica realizada na própria empresa através do uso de unidades geradoras de energia elétrica.

O custo da energia fornecida pelo gerador, mensurado em R\$/kWh, considera os gastos variáveis que são formados pelo preço do óleo diesel, óleo lubrificante, elemento filtrante e manutenção.

A soma mensal dos gastos com o gerador, dividida pela potência fornecida pelo ele, fornece o custo total da energia fornecida pelo sistema de geração própria.

2.6 ILUMINAÇÃO

A utilização de forma eficiente dos sistemas de iluminação, associados a hábitos saudáveis, permite a redução do consumo de energia elétrica, garantindo assim, o nível de iluminamento⁵ adequado do recinto para se obter um bom rendimento das tarefas a serem executadas [SANTOS, 2006].

As lâmpadas elétricas podem ser classificadas quanto ao processo de emissão de luz, que pode ser incandescente ou de descarga e quanto ao seu desempenho, onde são verificados a vida útil, o rendimento luminoso e o índice de reprodução de cores [MAMEDE, 2001].

Recomenda-se, para cada tipo de ambiente, uma característica de aplicação de tipos de lâmpadas e luminárias específicas. As lâmpadas fluorescentes tubulares, por exemplo, são recomendadas para locais de baixa altura (até três metros) e que exigem bom conforto visual. As lâmpadas de vapor metálico são aconselhadas para a iluminação de grandes áreas, com níveis de iluminância elevados, onde a qualidade da luz é primordial. As lâmpadas de vapor de mercúrio são usadas geralmente em grandes áreas, fachadas e na iluminação pública e as lâmpadas incandescentes são utilizadas para aplicações pontuais, decorativas ou aplicações onde o consumo é pequeno [ARAÚJO, 2007].

As lâmpadas elétricas de descarga necessitam de um reator para estabilizar a corrente de ignição. Para isso, são utilizados reatores eletromagnéticos, que apresentam, em média, perdas elétricas equivalentes a 25% da potência das lâmpadas. Atualmente existem reatores eletrônicos que possuem perdas menores, em torno de 10% [ARAÚJO, 2007].

As lâmpadas fluorescentes apresentam vantagens em relação às incandescentes, devido ao fato de apresentarem o mesmo fluxo luminoso com potências menores, gerando, assim, uma

⁵ É uma grandeza de luminosidade, que faz a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e a sua área.

economia de energia de até 80%, e uma vida útil maior. Somado a isso ainda possuem boas definições de cores [ARAÚJO, 2007].

A substituição de lâmpadas comuns por eficientes resulta em uma significativa diminuição no consumo de energia elétrica, isso não significa que o ambiente será menos iluminado, algumas lâmpadas eficientes emitem um fluxo luminoso maior do que o emitido por lâmpadas comuns, melhorando a iluminação com um menor ou igual consumo de energia [COSTA, 2006].

Na Tabela 2 é apresentado um exemplo de comparação entre dois tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares do mesmo fabricante [SYLVANIA, 2014]. Pode-se observar que a lâmpada que consome 32W emite um fluxo luminoso maior do que a que consome 40W.

Tabela 2. Exemplo de substituição de lâmpadas fluorescentes

	Lâmpada Fluorescente tubular BRANCO LUMINOSO	Lâmpada Fluorescente tubular DESIGNER 5000
Marca	Sylvania	Sylvania
Vida útil	12000 horas	12000 horas
Potencia	40 W	32 W
Fluxo Luminoso	2600 lumens	2700 lumens
Diâmetro	38 mm	26 mm
Comprimento	1214 mm	1214 mm

Fonte: Sylvania (2014)

Neste exemplo, a substituição simples de lâmpadas pelo modelo mais econômico reduziria o consumo de energia elétrica e aumentaria o fluxo luminoso no ambiente, sem precisar alterar a instalação elétrica existente.

2.6.1 Iluminação industrial

Os ambientes industriais requerem iluminação suficiente para a realização das atividades produtivas. A NBR ISO 8995-1 (2013) determina os níveis mínimos de iluminação que os ambientes de trabalho devem possuir.

Os sistemas de iluminação industrial são constituídos por componentes como: Lâmpadas; Luminárias; Reatores; Sensores; Minuteiras; Relés e *Dimmers* (Potenciômetros). Estes componentes podem apresentar variações quanto a eficiência energética, resultante de desperdícios de energia na forma de calor.

Em especial, as lâmpadas, têm um papel importante no desempenho energético do sistema de iluminação, uma vez que são os itens que mais consomem energia elétrica neste

sistema [CREDER,2007]. Na Figura 7 pode-se observar o desempenho energético de vários tipos de lâmpadas.

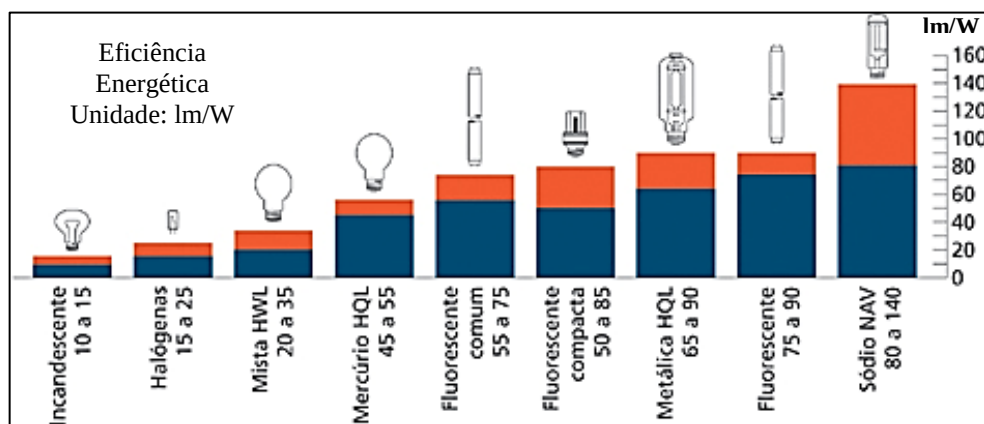


Figura 7. Eficiência energética de lâmpadas
Fonte: Modificado de OSRAM (2016)

2.7 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Os capacitores são dispositivos elétricos capazes de neutralizar a energia reativa indutiva dos circuitos elétricos. Essa energia é trocada pela energia armazenada no capacitor, que recebe o nome de “energia reativa capacitiva”. Esta energia somente é recebida pelo circuito elétrico quando for maior que a energia reativa indutiva presente no circuito [PROCEL, 2005].

Segundo Procel (2005), a instalação dos capacitores pode ser feita de duas formas: instalações com capacitores individuais ligados em cada carga; e instalações com bancos de capacitores fixos ou automáticos, ligados no ponto de entrada de energia.

Instalar capacitores individualmente em cada carga apresenta vantagens como:

- O motor trabalha em conjunto com o capacitor;
- Há maior eficiência dos motores devido à melhor utilização da potência;
- Há redução nas quedas de tensão;
- Há maior facilidade de realocação de motores e capacitores; e
- Facilita a escolha do capacitor ideal para cada carga.

As vantagens da instalação de bancos de capacitores ligados na entrada do circuito são:

- O custo é menor por kVar; corrige o fator de potência total da instalação;
- Permite que o controle automático assegure a dosagem exata da potência de capacitores, eliminando possíveis sobretensões [PROCEL, 2005].

Quando o fator de potência é corrigido de maneira eficaz, as perdas de energia diminuem; há menos aquecimento nos condutores; a variação de tensão diminui; e devido à liberação de carga os transformadores apresentam melhor aproveitamento. Em consequência, verifica-se o aumento na vida útil dos dispositivos elétricos, que passam a consumir a energia de forma econômica e, por fim, todo o sistema de distribuição de energia sai ganhando [PROCEL, 2005].

A legislação atual estabelece condições para medição e faturamento de energia reativa excedente. O controle do fator de potência é regulamentado pela Resolução 414 da ANEEL e se aplica às unidades consumidoras atendidas em alta tensão, esta resolução determina que o fator de potência mínimo dever ser de 0,92 capacitivo ou indutivo.

Segundo Capelli (2013), uma das maneiras de calcular o banco de capacitores para se corrigir o fator de potência é utilizada na Equação 14, que possui um multiplicador resultante do cruzamento do FP atual com o FP desejado, obtido na Figura 8.

Equação 14

$$P_{necessária} = P_m \times M$$

$P_{necessária}$: Potência da energia reativa capacitiva [kvar]

P_m : Potência do motor [kW]

M : Multiplicador

Fator Potência	FATOR DE POTÊNCIA DESEJADO (F)															
	Atual	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
0,50		1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,589
0,52		1,023	1,050	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500
0,54		0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416
0,56		0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,054	1,085	1,117	1,151	1,188	1,229	1,277	1,337
0,58		0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,979	1,010	1,042	1,076	1,113	1,154	1,202	1,262
0,60		0,713	0,740	0,766	0,793	0,821	0,849	0,877	0,907	0,938	0,970	1,004	1,041	1,082	1,130	1,190
0,62		0,646	0,673	0,699	0,726	0,754	0,782	0,810	0,840	0,871	0,903	0,937	0,974	1,015	1,063	1,123
0,64		0,581	0,608	0,634	0,661	0,689	0,717	0,745	0,775	0,806	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,068
0,66		0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,682	0,712	0,743	0,775	0,809	0,846	0,887	0,935	0,995
0,68		0,458	0,485	0,511	0,538	0,566	0,594	0,622	0,652	0,683	0,715	0,749	0,786	0,827	0,875	0,935
0,70		0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,594	0,625	0,657	0,691	0,728	0,769	0,817	0,877
0,72		0,344	0,371	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821
0,74		0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766
0,76		0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,604	0,652	0,712
0,78		0,182	0,209	0,235	0,262	0,290	0,318	0,346	0,376	0,407	0,439	0,473	0,510	0,551	0,599	0,659
0,80		0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,609
0,82		0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,555
0,84		0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503
0,86	-	0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,342	0,390	0,450	0,510
0,88	-	-	-	0,000	0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,457
0,90	-	-	-	-	-	0,000	0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,233	0,281	0,341	0,401
0,92	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,283	0,343
0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,280
0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,041	0,089	0,149	0,209
0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,060	0,120

Figura 8 - Correção do fator de potência.

Fonte: Capelli (2013)

2.8 COMPRESSORES DE AR

Os compressores são estruturas mecânicas destinadas a transformar energia mecânica em energia potencial de pressão e cinética do ar. Com esta transformação obtém-se uma pressão de ar consideravelmente maior do que a pressão atmosférica [PROCEL, 2015].

Nas indústrias, o ar comprimido é empregado em motores pneumáticos, acionamentos de máquinas operatrizes, sistemas de controle e na automatização de processos [PROCEL, 2015]. A principal motivação para se praticar ações de eficiência energética em um sistema de ar comprimido é devido ao elevado consumo de energia elétrica do mesmo, observa-se na Figura 9, como é significativa a parcela dos gastos com energia elétrica durante a vida útil de um compressor, 78%, frente aos 16% dos gastos com o investimento inicial e 6% com manutenção.

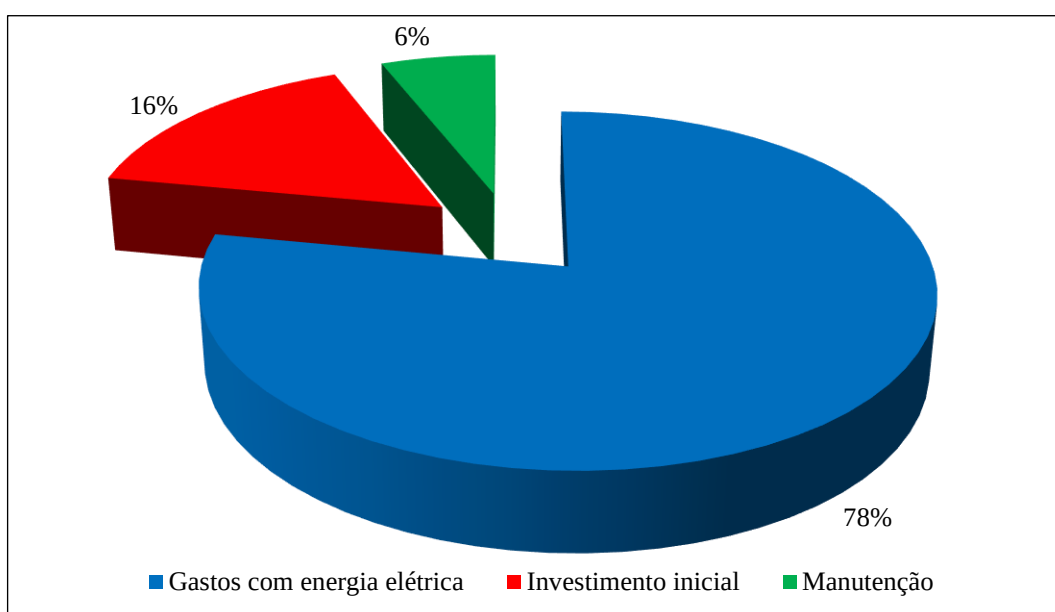


Figura 9 - Divisão dos gastos envolvidos de um compressor durante sua vida útil.
Fonte: adaptado de Saidur et. al. (2009).

Além disto, apenas 5% a 10% da energia elétrica disponibilizada para o compressor é transformada em trabalho útil, ou seja, é um sistema de baixa eficiência, o que faz com que seja ainda mais importante garantir que o mesmo opere nas melhores condições (YANG, 2009).

De acordo com McKane e Hasanbeigi (2011) os sistemas pneumáticos no Brasil são considerados como de baixa eficiência, que são aqueles caracterizados por apresentarem algumas das peculiaridades abaixo:

- Manutenção limitada;
- Vazão superior a necessária pelo processo;
- Pouca utilização de controladores de velocidade;
- Pouca utilização de motores de alto rendimento, menos de 5%.

As indústrias geralmente não avaliam os custos envolvidos na geração de ar comprimido, este que como já foi mencionado é um sistema com baixa eficiência, por falta de informações quanto aos fatores que poderiam reduzir os custos com este sistema.

Segundo Procel (2005), os principais problemas que acarretam aumento de consumo de energia em sistemas de ar comprimido são:

2.8.1 Perdas por vazamentos

Em instalações antigas ou mal conservadas, as perdas nos sistemas de ar comprimido podem chegar a 30% do total gerado pelo compressor, o que representa um enorme desperdício de energia. Estas perdas podem ser reduzidas à próximo de 5% se a instalação e manutenção forem realizadas corretamente. Para isso, deve-se verificar o estado das conexões, junções e engates rápidos em busca de pontos de vazamento de ar.

Pode-se perder grandes quantidades de ar em furos relativamente pequenos. A Tabela 3 mostra a relação do diâmetro do furo com a potência desperdiçada no compressor.

Tabela 3- Perdas por vazamento

Diâmetro do furo		Escape de ar na pressão de 6 kgf/cm ²		Potência necessária à compressão perdida	
mm	pol.	m ³ /min	pés ³ /min	cv	kW
1	3/64	0,06	2	0,4	0,3
3	1/8	0,6	21	4,2	3,1
5	3/16	1,6	57	11,2	8,3
10	3/8	6,3	220	44	33

Fonte: Procel (2005).

2.8.2 Localização do tubo de aspiração

O ponto onde a tomada de ar do compressor está instalada influencia diretamente no desempenho energético do compressor. Deve-se instalar a tomada de ar sempre em local fresco, evitando a proximidade com pontos aquecidos.

Quanto mais baixa a temperatura do ar admitido pelo compressor, menos energia é gasta na compressão. Neste sentido, é importante que o compressor não aspire o ar dentro da casa de

máquinas onde está instalado, cuja temperatura tende a ser mais elevada do que a do ar externo. Por exemplo: se a temperatura do ar externo for de 32°C e a do ar aspirado for de 40°C, a possibilidade de economia é de 3,8% da potência do compressor.

2.8.3 Filtro de aspiração sujo ou inexistente

A ausência deste componente compromete a vida útil do compressor e o excesso de sujeira dificulta a aspiração do ar, aumentando o consumo de energia elétrica.

2.8.4 Inexistência de inclinação nas redes de distribuição

Deve-se manter uma inclinação de 5 a 10mm por metro de tubulação, para evitar que a umidade condensada fique retida no duto entre dois pontos de drenagem. O excesso de umidade nas linhas de ar comprimido podem provocar a redução da vida útil dos equipamentos e ferramentas pneumáticas.

2.8.5 Traçado da instalação inadequado

Deve-se otimizar o trajeto das tubulações do sistema de ar comprimido, evitando trechos sinuosos e percursos desnecessários. Quanto menor o percurso, menor será a perda de carga e a economia de energia.

2.9 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE INVESTIMENTO

Toda intervenção realizada na indústria deve levar em consideração a análise do investimento. Neste sentido, a análise de viabilidade simples, chamada de *payback*, ou também de período de retorno simples (PRS) pode ser obtida pela soma do investimento dividido pela soma das economias (Equação 15). Para uma análise mais elaborada pode-se utilizar o período de retorno descontado (PRD), que considera o valor do custo do capital (Equação 16).

Equação 15

$$PRS = \frac{\text{Investimento}}{\text{Economia}}$$

Onde:

PRS – Período de retorno simples [R\$]

$$PRD = n \cdot PRS \cdot \frac{(1+j)^n \cdot i}{(1+j)^n - 1}$$

Onde:

PRD – Período de retorno descontado [R\$]

j - Taxa de juros [a.a]

n - Número de período [anos]

i – Taxa de desconto escolhida

O *Payback* ou período de retorno do investimento pode ser calculado de duas formas: *Payback* simples, onde se calcula o número de períodos necessários para se recuperar o investimento inicial, sem levar em conta o fluxo de caixa e o valor do dinheiro no tempo, e o *Payback* descontado, que calcula o número de períodos necessários para recuperar o investimento, considerando-se o valor do dinheiro no tempo e ajustando-se os fluxos de caixa a uma taxa de desconto.

Neste sentido, o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa possibilita trazer todos os fluxos futuros para o valor atual, descontando a taxa de juros, que corresponde ao custo de capital, também chamada de custo de oportunidade ou taxa mínima de atratividade (TMA). Essa taxa representa o retorno que um investimento poderia obter em uma aplicação no mercado com risco comparável. O VPL pode ser calculado pela Equação 17 [LIMA, 2003].

$$VPL = FC_0 + \frac{FCx1}{(1+i)^1} + \frac{FCx2}{(1+i)^2} \dots \frac{FCxn}{(1+i)^n}$$

Onde:

FCx - Fluxo de caixa no período

i - é a taxa de desconto escolhida

A Taxa interna de Retorno (TIR) é a taxa utilizada para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os retornos futuros ou saldos de caixa gerados em cada período. Esta análise é utilizada em investimentos e quantifica a taxa de retorno de um projeto. Como a TIR é a taxa de desconto que faz com que o VPL se iguale a zero, uma vez que o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial, obtém-se a TIR resolvendo a Equação 18 [LIMA, 2003].

$$VPL = \sum_{c=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^c} - I_0$$

Onde:

FCt – valor presente das entradas de caixa;

I_0 – Investimento inicial;

k – taxa de desconto (igual ao custo de capital de empresa);

t – tempo de desconto de cada entrada de caixa;

n - tempo de desconto do último fluxo de caixa.

3 METODOLOGIA

3.1 ESTUDO DE CASO

Para analisar a eficiência energética do processo produtivo de uma indústria de filmes plásticos, adotou-se a indústria “A” como estudo de caso, cuja planta de produção está situada na zona urbana da cidade de Dourados no Estado de Mato Grosso do Sul (MS) e entrou em operação em maio de 1989.

A principal característica deste estudo é a coleta de dados, a análise e a sugestão de ações de conservação de energia elétrica e o seu uso racional. Para tanto se fez necessário uma série de visitas técnicas, observações de funcionamento e aquisição de dados da unidade em questão, e uma contraposição destes dados com a bibliografia pertinente.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A indústria avaliada desenvolve como atividade principal a produção e impressão em embalagens e filmes plásticos. A operação da empresa ocorre de forma ininterrupta durante seis dias por semana ao longo dos doze meses do ano.

A indústria possui 4.848,2 m² de área construída e a maior porção desta área é dedicada ao setor de produção, onde estão instaladas as máquinas e equipamentos responsáveis pela transformação do plástico (Figura 10). O estudo se limita a área de produção da indústria, uma vez que este setor concentra a maior parte da carga instalada, possuindo, portanto, maior potencial de redução de consumo energético.

A produção de produto finalizado no período de julho de 2014 a junho de 2015, foi de 4.699,96 t, o que equivale a uma produção média mensal de 391,6 t de embalagens.

Para operar o processo industrial a empresa conta com 173 funcionários em seu quadro. Os funcionários trabalham em três turnos de segunda a sábado, sendo que aos domingos trabalham eventualmente, sob demandas esporádicas.



Figura 10 - Vista aérea da indústria com destaque para o setor de produção
Modificado de Google (2015)

3.3 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de produção, conforme o fluxograma apresentado na Figura 11, inicia-se no setor de extrusão, onde a matéria-prima, o polietileno, é transformado em plástico. O polietileno é recebido pela empresa em pequenos grânulos ensacados em “*Big Bag's*” ou sacos de 50kg. O plástico granulado é misturado e processados através da extrusora, onde é derretido e transformados em um filme plástico. O plástico pronto é bobinado e segue para o setor de impressão, onde é feita a transferência mecânica de tinta líquida para o filme.

Finalizada a impressão, as bobinas de filme plástico são encaminhadas para o setor de laminação, que é responsável por fornecer à embalagem melhores propriedades de barreira, somando propriedades aos filmes através da união de duas ou mais camadas através de um adesivo líquido. No setor de acabamento, as máquinas refiladoras dividem as bobinas provenientes da laminação em bobinas menores, com tamanho adequado às características especificadas pelos clientes. No mesmo setor, as máquinas de corte e solda transformam os filmes em embalagens do tipo saco plástico com dimensões e cortes variados. Posteriormente o produto finalizado é acondicionado no setor de estoque enquanto aguarda a expedição.

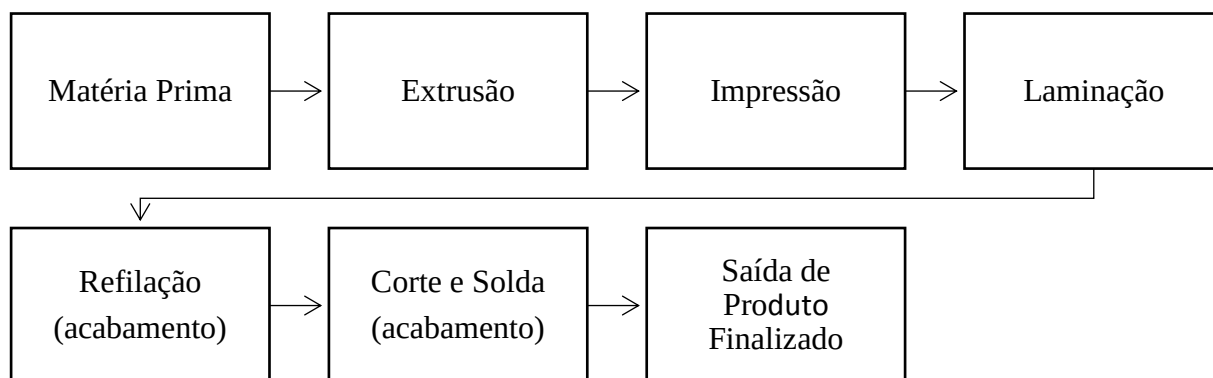


Figura 11 - Fluxograma do processo de produção de embalagens plásticas.

3.4 MÉTODO DE COLETA DE DADOS

Para realização deste trabalho foram obtidos, em levantamento junto a empresa, os dados de faturamento de energia emitidos pela concessionária de energia elétrica Energisa. Foram utilizados os dados das faturas de energia referentes ao período de julho de 2014 a junho de 2015, observando o comportamento de consumo de energia elétrica em um ano de trabalho da indústria. Foram verificados nas mesmas faturas os dados de consumo de energia elétrica, de demanda contratada, de demanda medida e de demanda de ultrapassagem, além dos dados de excedente de energia reativa.

Para a definição da estrutura tarifária mais vantajosa para a empresa, foram realizadas duas análises, a primeira considerou que o consumo de energia elétrica no horário de ponta e fora de ponta é fornecido integralmente pela concessionária de energia elétrica. A segunda análise considerou que no horário de ponta o consumo seja suprido pelo sistema de geração própria e fora de ponta pela concessionária, conforme pode-se observar no esquema da Figura 12.

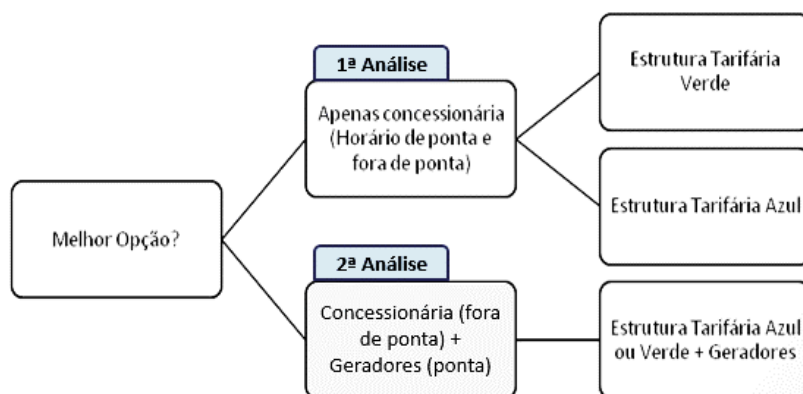


Figura 12 - Opções de estrutura tarifária em análise.

Somado a isso, para o desenvolvimento do diagnóstico de eficiência energética foi necessário levantar os dados de geração de energia elétrica, através do levantamento do consumo de combustível e do gasto com manutenção (lubrificantes e filtros), que foram utilizados para o cálculo do custo da geração própria de energia elétrica da indústria. Para isso foram coletados dados de um medidor de energia instalado junto aos 3 geradores presentes na empresa. Estes dados foram registrados pela equipe de manutenção uma vez ao dia, no horário de ponta, durante um mês.

Foi realizado também o levantamento das cargas presentes no setor de produção, para isso foram coletados os dados de potência nos manuais e placas das máquinas e em seus motores, resistências elétricas e demais equipamentos conectados ao sistema elétrico.

Para a quantificação dos desperdícios e da oportunidade de ganhos com a efficientização da instalação industrial, foram levantadas informações sobre dois sistemas industriais, o de iluminação e o de ar comprimido.

A análise do sistema de iluminação incluiu o levantamento das lâmpadas e luminárias instaladas no ambiente de produção, suas características energéticas (potência, fluxo luminoso, vida útil, tamanho e preço) e a possibilidade de substituição por modelos energeticamente mais eficientes. Para isso, foi realizada uma pesquisa de mercado em lâmpadas com fluxo luminoso e tamanho equivalentes, mas que possuam melhor eficiência energética em comparação as lâmpadas atuais instaladas na empresa. Ao final foi realizada a análise econômica da substituição das lâmpadas instaladas atualmente pelas lâmpadas mais eficientes e foram sugeridas práticas de conservação e manutenção para melhor aproveitamento do sistema de iluminação.

Somado a isso, analisou-se *in loco* as perdas no sistema de ar comprimido através de inspeção visual das instalações (conexões, junções e engates rápidos) em busca de pontos de vazamento de ar. Para isso, foi realizada *in loco* a inspeção de vazamentos audíveis em todos os pontos de fornecimento de ar comprimido das máquinas da empresa. Os pontos de vazamento observados foram identificados com etiquetas numeradas para posterior correção. Para a análise do sistema de ar comprimido, foi aplicada a metodologia definida pelo Procel (2005), que possibilita o cálculo da potência necessária para suprir o desperdício com vazamentos de ar comprimido e o consequente consumo de energia desperdiçado. Os parâmetros utilizados para a análise dos vazamentos foram:

- Os equipamentos consumidores estavam conectados à rede de ar comprimido, porém inoperantes;

- O manômetro instalado na rede ou no reservatório estava calibrado e funcional;
- O nível de pressão foi mantido, ajustado no pressostato de controle;
- O compressor utilizado para a análise foi o de menor porte;
- Foram utilizados dois cronômetros para mensurar o tempo.

Os testes foram realizados seguindo o seguinte procedimento:

1. Acionou-se manualmente o compressor até que foi atingida a pressão de desarme. O primeiro cronometro foi acionado no momento do desarme.
2. No instante em que o compressor religou, acionou-se o segundo cronometro, sendo desligado apenas após atingida a segunda pressão de desarme.
3. O ensaio foi repetido cinco vezes e os dois cronômetros foram desligados ao fim da última repetição.

Neste caso, o volume de ar deslocado durante o tempo de compressão é aproximadamente igual ao ar que atravessou os orifícios de vazamento. Sendo possível calcular o volume de ar desperdiçado no sistema de ar comprimido e o consequente desperdício de energia elétrica.

Somado a isso, foram obtidos na empresa os horários e o tempo de funcionamento da indústria e os dados de produção, através da análise do histórico de produção fabril, documentado em forma de planilha do *software* Excel pelo setor de controle de produção.

Sempre que necessário e com previa autorização da empresa, realizou-se registros fotográficos dos dados em motores elétricos, dos sistemas de iluminação e dos sistemas de ar comprimido, além do processo de trabalho e do regime de utilização das máquinas e equipamentos elétricos.

Para a coleta de dados de consumo de energia elétrica e demanda de energia relacionados a uma máquina ou processo específico, foram realizadas medições *in loco* utilizando o aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul, de propriedade da empresa. Os dados obtidos foram processados posteriormente e analisados com apoio do *software* Excel.

De posse de todos os dados coletados, estes foram analisados e compilados de forma a traçar o perfil de usuário do sistema de energia elétrica. Após a análise destes dados pode-se realizar a mensuração dos indicadores energéticos e a sugestão de melhorias através da aplicação de soluções para a efficientização do consumo de energia.

Para um diagnóstico mais preciso de eficiência energética da empresa em questão, a análise utilizando somente as medições de potência consumida pela indústria não foi suficiente, do ponto de vista técnico, uma vez que é preciso analisar quais são os potenciais de melhoria

através do monitoramento de indicadores que definem a forma como a energia está sendo utilizada no processo produtivo. Desta forma, o conceito de eficiência energética pode ser medido através de indicadores que mostram como a empresa pode produzir a mesma quantidade de produto, com mesma qualidade, gastando menos energia elétrica [BATISTA, 2013].

Dentro deste contexto, neste trabalho foram adotados os indicadores recomendados por Batista (2013), que orienta a utilização de indicadores específicos para a mensuração da eficiência energética em processos produtivos industriais. Estes indicadores apresentam com clareza a relação de consumo *versus* insumo utilizado. Para isso, os indicadores de energia utilizados foram o Fator de Carga (FC), o Preço Médio (PM), o Consumo Específico e o Custo Específico.

Para o cálculo dos indicadores foram considerados os aumentos tarifários verificados no primeiro quadrimestre de 2016 e como resultado foi possível observar os impactos destes aumentos nos valores de produção, através da análise temporal dos indicadores de eficiência energética.

Durante a realização do estudo, foram verificadas distorções na utilização da demanda de energia elétrica contratada pela indústria. Para contornar esta problemática, foi elaborado um estudo para a instalação de um controlador automático de demanda. Neste sentido, foram avaliadas as curvas de demanda, geradas a partir de dados coletados pelo medidor de energia da concessionária, e as curvas de distribuição de frequências das máquinas, levantadas utilizando o aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul. Ao final foi realizada a análise da viabilidade de instalação do controlador de demanda.

Todos os dados foram obtidos *in loco*, bem como pesquisados através de medição direta ou coleta de informações da concessionária de energia elétrica Energisa. Os dados, as análises e os resultados serão apresentados no próximo capítulo.

Para a melhor compreensão das ações realizadas neste trabalho, algumas metodologias empregadas foram detalhadas em meio a análise e apresentação dos resultados.

4 RESULTADOS

4.1 FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

O fornecimento de energia elétrica é realizado pela concessionária Sul-mato-grossense do Grupo Energisa, através de uma rede de distribuição na tensão nominal de 13,8 kV. Internamente às suas instalações, a empresa possui uma subestação abrigada de 900 kVA, onde estão instalados três transformadores de 300 kVA com tensão secundária de 380/220V. Também são utilizados três geradores diesel que somam a potência total de 972 kW.

Como a tensão de operação é 13,8 kV e a demanda é superior a 300 kW o consumidor tem como opção as modalidades tarifárias horárias azul ou verde. Atualmente a empresa está classificada na modalidade tarifária horária verde, subgrupo A4.

4.2 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA A PRODUÇÃO DE FILMES PLÁSTICOS

Nesta seção são apresentadas as principais máquinas presentes no setor de produção da empresa, com suas características de funcionamento e os seus valores de carga obtidos nas placas dos motores e resistências e nos manuais dos fabricantes. No total estão presentes no ambiente de produção 39 máquinas, sendo 30 delas distribuídas em cinco setores produtivos (Extrusão, Impressão, Laminação, Refilação e Corte e Solda), e as outras 9 no setor de apoio.

4.2.1 Extrusora

O processo produtivo de filmes plásticos é iniciado no setor de extrusão, onde as máquinas extrusoras transformam matéria prima em bobinas de filme plástico.

O funcionamento da extrusora consiste na extrusão a quente de material plástico, moído ou granulado. A matéria prima passa por um cilindro aquecido por resistências elétricas que a fundem e forçam a sua passagem por telas de aço que retém impurezas, encaminhando o plástico derretido para a matriz de extrusão, onde um jato de ar comprimido, soprado

constantemente, expande o material formando um balão contínuo de filme plástico. Por fim, roletes cilíndricos achatam o filme que posteriormente é armazenado em bobinas.

A empresa possui 6 extrusoras com capacidade individual de produção de 350 kg/h de filmes plásticos, localizadas no setor de Extrusão. Na Figura 13 é possível visualizar um exemplar da máquina. Os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 4 onde podem ser visualizadas a potência dos motores, potência das resistências elétricas, outras potências observadas e a potência total.

As extrusoras normalmente funcionam 24 horas por dia de segunda a sábado, no domingo elas são revisadas no programa de manutenção preventiva da empresa e eventualmente também são ativadas, dependendo da demanda por produção.



Figura 13 - Visão geral de uma extrusora.

Tabela 4 - Levantamento de carga das extrusoras.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Extrusão	Extrusora 01	84,71	86,85	0	171,56
	Extrusora 02	42,01	29,00	0	71,01
	Extrusora 03	42,01	29,00	0	71,01
	Extrusora 04	89,86	36,00	0	125,86
	Extrusora 05	100,28	32,90	0	133,18
	Extrusora 06	247,22	159,88	0	407,10

4.2.2 Impressora Flexográfica

A Impressora Flexográfica é uma máquina que imprime elementos gráficos através da deposição contínua de tinta sobre o filme plástico. Por meio dela são gravadas as informações de rotulagem sobre os produtos a que os filmes serão destinados como embalagem.

O funcionamento de uma Impressora Flexográfica é baseado na utilização de modelos de matrizes em alto-relevo com impressão direta sobre o filme plástico. Suas matrizes são flexíveis, feitas de polímero e permitem a impressão de várias cores em um mesmo filme.

A empresa possui 5 máquinas deste tipo com capacidade de impressão de 400m/min de filmes plásticos. Na Figura 14 é possível visualizar um exemplar da máquina e os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 5, onde podem ser visualizadas a potência dos motores, potência em resistência elétrica, outras potências observadas e a potência total.

As impressoras normalmente funcionam em turnos 2 de 8 horas de segunda a sábado, no domingo elas são revisadas no programa de manutenção preventiva e eventualmente também são ativadas, dependendo da demanda por produção.



Figura 14 - Visão geral de uma Impressora Flexográfica.

Tabela 5 - Levantamento de carga das Impressoras Flexográficas.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Impressão	Impressora 01	72,10	90,63	0	162,73
	Impressora 02	23,72	166,50	0	190,22
	Impressora 03	38,84	166,50	0	205,34
	Impressora 04	23,72	166,50	0	190,22
	Impressora 05	72,10	90,63	0	162,73

4.2.3 Laminadora

A laminadora é uma máquina utilizada para unir dois ou mais filmes plásticos e/ou metálicos. É capaz de laminar, realizar aplicações de laqueados, vernizes e impressões em uma cor em rotogravatura. Tem como finalidade aumentar a espessura e a rigidez dos filmes plásticos, além de proporcionar proteção e beleza ao produto. A máquina recebe a bobina padrão e através de seus sistemas rotativos realiza a laminação dos filmes plásticos. Este processo uma vez iniciado é realizado de forma automática e contínua até que a bobina de saída atinja o diâmetro previamente definido.

A empresa possui 3 máquinas com capacidade de laminação de 142 t/mês de filmes plásticos. Na Figura 15 é possível visualizar um exemplar da máquina e os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 6, onde podem ser visualizadas a potência dos motores, potência em resistência elétrica, outras potências observadas e a potência total.

As laminadoras normalmente funcionam em 2 turnos de 8 horas de segunda a sábado, no domingo elas são revisadas no programa de manutenção preventiva e eventualmente também são ativadas, dependendo da demanda por produção.



Figura 15 - Visão geral de uma Laminadora.

Tabela 6 - Levantamento de carga das Laminadoras.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Laminação	Laminadora 01	22,61	0	3,40	26,01
	Laminadora 02	66,30	0	27,00	93,30
	Laminadora 03	24,21	0	18,00	42,21

4.2.4 Refiladoras

As refiladoras são máquinas concebidas para transformar uma bobina padrão proveniente da extrusão e impressão em bobinas menores com tamanhos e pesos especificados.

A máquina recebe a bobina padrão e através do movimento rotativo de cilindros metálicos, passa o filme plástico por laminas de corte que redimensionam a bobina para novas especificações. Este processo, uma vez iniciado é realizado de forma automática e contínua até que a bobina de saída atinja o diâmetro previamente definido.

A empresa possui 6 máquinas com capacidade de laminação de 120t/mês de filmes plásticos. Na Figura 16 é possível visualizar um exemplar da máquina e os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 7, onde podem ser visualizadas a potência dos motores, potência em resistência elétrica, outras potências observadas e a potência total.

As refiladoras normalmente funcionam em 2 turnos de 8 horas de segunda a sábado, no domingo elas são revisadas no programa de manutenção preventiva e eventualmente também são ativadas, dependendo da demanda por produção.



Figura 16 - Visão geral de uma refiladora.

Tabela 7 - Levantamento de carga das Refiladoras.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Acabamento	Refiladora 01	46,62	0	0	46,62
	Refiladora 02	64,87	0	0	64,87
	Refiladora 03	23,00	0	0	23,00
	Refiladora 04	23,00	0	0	23,00
	Refiladora 05	30,51	0	0	30,51
	Refiladora 06	23,00	0	0	23,00

4.2.5 Corte e solda

O funcionamento da máquina de Corte e Solda consiste na transformação de uma bobina de filme plástico em sacos plásticos, com tamanhos variados. Para tal um desbobinador é utilizado, associado a uma balança compensadora e um cabeçote móvel responsável pelo corte e solda do filme plástico que é empilhado e enviado para o estoque.

A empresa possui 10 máquinas deste tipo. Na Figura 17 é possível visualizar um exemplar da máquina e os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 8, onde podem ser visualizadas a potência dos motores, potência em resistência elétrica, outras potências observadas e a potência total.

As máquinas de corte e solda normalmente funcionam em 2 turnos de 8 horas de segunda a sábado, no domingo elas são revisadas no programa de manutenção preventiva e também são ativadas, dependendo da demanda por produção.



Figura 17 - Visão geral de uma máquina de Corte e Solda.

Tabela 8 - Levantamento de carga das máquinas Corte e Solda.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Acabamento	Corte e Solda 01	16,53	11,14	0	27,67
	Corte e Solda 02	10,76	3,55	0	14,31
	Corte e Solda 03	1,22	4,47	0	5,69
	Corte e Solda 04	1,22	4,10	0	5,32
	Corte e Solda 05	19,75	12,35	0	32,10
	Corte e Solda 06	24,69	11,55	0	36,24
	Corte e Solda 07	1,47	3,75	0	5,22
	Corte e Solda 08	14,54	3,77	0	18,31
	Corte e Solda 09	10,52	5,44	0	15,96
	Corte e Solda 10	11,37	4,71	0	16,08

4.2.6 Apoio

A empresa conta com máquinas que não tem função direta no processo produtivo dos filmes plásticos, no entanto, estas máquinas servem de apoio à produção, sendo responsáveis pelo fornecimento de elementos complementares que possibilitam o funcionamento das máquinas que produzem os filmes plásticos. A Figura 18 apresenta um exemplo das máquinas que compõem o setor de apoio. Os dados de carga de cada máquina podem ser observados na Tabela 9 podem ser visualizadas a potência dos motores, potência em resistência elétrica, outras potências observadas e a potência total. Os dados foram obtidos nos manuais das máquinas.

As máquinas de apoio são utilizadas para manutenção e apoio a produção, não possuem jornada de trabalho definida, sendo ativadas por demanda.



Figura 18 - Visão geral de uma máquina do setor de apoio (Torno manual).

Tabela 9 - Levantamento de carga das máquinas do setor de Apoio.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Apoio	Compressor 01	40,89	0	0	40,89
	Compressor 02	40,89	0	0	40,89
	Compressor 03	24,53	0	0	24,53
	Refrigerador	89,91	0	0	89,91
	Bomba	2,44	0	0	2,44
	Insufladores	71,00	0	0	71,00
	Recuperadora	8,89	0	0	8,89
	Torno Manual	7,16	0	0	7,16
	Aspirador	4,44	0	0	4,44

4.3 CARGA INSTALADA

A carga total instalada no ambiente de produção da indústria e sua distribuição setorial pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10. Levantamento de carga realizado na indústria.

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Extrusão	Extrusora 01	84,71	86,85	0	171,56
	Extrusora 02	42,01	29,00	0	71,01
	Extrusora 03	42,01	29,00	0	71,01
	Extrusora 04	89,86	36,00	0	126,33
	Extrusora 05	100,28	32,90	0	133,18
	Extrusora 06	247,22	159,88	0	407,10
Impressão	Impressora 01	72,10	90,63	0	162,73
	Impressora 02	23,72	166,50	0	190,22
	Impressora 03	38,84	166,50	0	205,34
	Impressora 04	23,72	166,50	0	190,22
	Impressora 05	72,10	90,63	0	162,73
Laminação	Laminadora 01	22,61	0	3,40	26,01
	Laminadora 02	66,30	0	27,00	93,30
	Laminadora 03	24,21	0	18,00	42,21
Acabamento	Refiladora 01	46,62	0	0	46,62
	Refiladora 02	64,87	0	0	64,87
	Refiladora 03	23,00	0	0	23,00
	Refiladora 04	23,00	0	0	23,00
	Refiladora 05	30,51	0	0	30,51
	Refiladora 06	23,00	0	0	23,00
	Corte e Solda 01	16,53	11,14	0	27,67
	Corte e Solda 02	10,76	3,55	0	14,31
	Corte e Solda 03	1,22	4,47	0	5,69
	Corte e Solda 04	1,22	4,10	0	5,32
	Corte e Solda 05	19,75	12,35	0	32,10
	Corte e Solda 06	24,69	11,55	0	36,24
	Corte e Solda 07	1,47	3,75	0	5,22
	Corte e Solda 08	14,54	3,77	0	18,31
	Corte e Solda 09	10,52	5,44	0	15,96
	Corte e Solda 10	11,37	4,71	0	16,08

(Continuação)

Setor	Máquina	Potência dos Motores [kW]	Potência Resistências [kW]	Potência (Outros) [kW]	Potência Total [kW]
Apoio	Compressor 01	40,89	0	0	40,89
	Compressor 02	40,89	0	0	40,89
	Compressor 03	24,53	0	0	24,53
	Refrigerador	89,91	0	0	89,91
	Bomba	2,44	0	0	2,44
	Insufladores	71,00	0	0	71,00
	Recuperadora ⁶	8,89	0	0	8,89
	Torno Manual	7,16	0	0	7,16
	Aspirador	4,44	0	0	4,44
Total		1562,91	1119,22	48,40	2730,53

Na Figura 19 pode ser observado a divisão da carga instalada na indústria por setor produtivo. Os setores com maiores cargas instaladas são os de Impressão e Extrusão, que juntos correspondem à 69% da carga total.

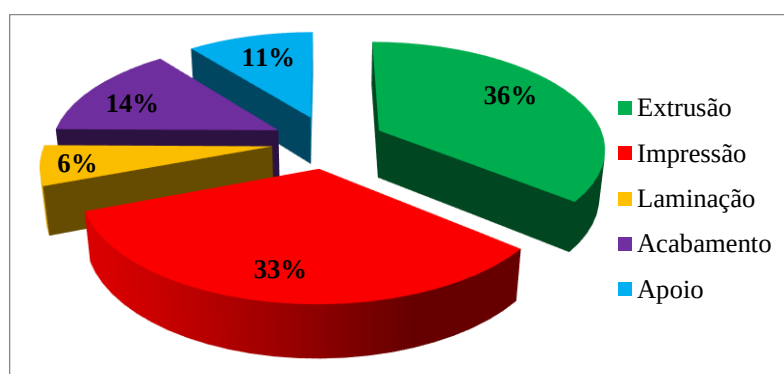


Figura 19- Divisão de carga no setor de produção.

4.4 LEVANTAMENTO DAS DESPESAS COM ENERGIA DA INDÚSTRIA

Os dados apresentados a seguir foram realizados com base nos dados obtidos das faturas de energia elétrica da indústria, conforme recomendação de Santos (2006). Na Tabela 11 estão consolidados os valores de consumo e na Tabela 12 as despesas com energia elétrica, ambos

⁶ A recuperado possui resistências elétricas, porém não foi encontrado o manual com as especificações desta máquina.

fornecidos pela concessionária de energia. A coluna 1 representa o mês do ano do período em análise e as demais colunas os parâmetros detalhados de consumo, demanda, energia reativa e fator de potência.

Tabela 11. Histórico de consumo de energia elétrica referente ao período de julho de 2014 a junho de 2015.

MÊS	Consumo (kWh)		Demanda (kW)			Energia reativa (kVArh)		
	Ponta	Fora de ponta	Contratada	Tolerada	Verificada	Energia reativa na ponta	Energia reativa fp	Fator de potência
jul/14	1.881,00	301.610,00	780	819	784,89	903,00	1.664,00	0,91
ago/14	1.515,00	318.509,00	780	819	819,16	960,00	1.146,00	0,91
set/14	1.141,00	322.452,00	780	819	790,27	1.160,00	2.511,00	0,91
out/14	435	319.877,00	780	819	795,64	1.242,00	4.250,00	0,9
nov/14	482	334.586,00	780	819	762,04	1.157,00	3.332,00	0,9
dez/14	743	331.213,00	810	850,5	865,53	1.220,00	186,00	0,92
jan/15	1.685,00	328.264,00	810	850,5	856,12	1.039,00	217,00	0,92
fev/15	2.683,00	275.243,00	810	850,5	822,52	1.022,00	215,00	0,92
mar/15	865	314.641,00	810	850,5	833,28	1.041,00	42,00	0,92
abr/15	426	356.955,00	810	850,5	853,44	1.439,00	377,00	0,92
mai/15	296	336.338,00	810	850,5	895,77	1.083,00	505,00	0,92
jun/15	452	306.517,00	810	850,5	856,8	1.171,00	547,00	0,91
Média	1.008,09	320.517,08	797,50	837,38	827,96	1128,44	1597,11	0,913

Segundo resolução normativa nº 569 da ANEEL de 23 de julho de 2013, modifica a abrangência da aplicação do fator de potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras e altera a resolução normativa nº 414 da ANEEL, de 9 de setembro de 2010. O fator de potência de referência, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92.

Observa-se que foi instalado um banco de capacitores de 25 kVAr para reduzir ou eliminar as cobranças por excedente de energia reativa. No entanto, verifica-se que houve apenas a redução, mas não a eliminação da cobrança de excedente de reativo nos meses de janeiro a novembro de 2014 e em junho de 2015. Verifica-se desta forma que o banco de capacitores precisa ser ajustado para que o fator de potência fique dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Verifica-se também que houve ultrapassagem da demanda contratada acima da tolerância máxima permitida nos meses de agosto e dezembro de 2014 e janeiro, abril e maio de 2015. A análise desta condição será detalhada na sessão de tarifação de energia.

Na sequência a Tabela 12 apresenta os valores monetários de consumo, demanda e energia reativa faturados para a empresa em cada mês do período em análise.

Tabela 12. Valores monetários referentes ao consumo de energia elétrica referente ao período de julho de 2014 a junho de 2015 (em R\$).

MÊS	Consumo (R\$)		Demanda (R\$)		Energia Reativa excedente (R\$)		Faturamento total (R\$)	
	Ponta	Fora de ponta	Verificada/Contratada	Ultrapassada	Ponta	Fora de ponta	Faturamento sem imposto (R\$)	Faturamento com imposto (R\$)
jul/14	2.278,36	56.823,32	9.913,16	0,00	150,87	278,02	69.292,86	87.002,79
ago/14	1.835,04	60.007,09	10.345,99	989,18	160,39	191,47	73.368,77	94.018,59
set/14	1.382,03	60.749,95	9.981,11	0,00	193,81	419,53	72.536,62	96.125,95
out/14	526,89	60.264,82	10.048,93	0,00	207,51	710,09	71.550,73	92.494,57
nov/14	583,82	63.036,00	9.851,40	0,00	193,31	556,71	74.027,93	94.370,55
dez/14	899,95	62.400,52	10.931,64	1.402,68	0,00	0,00	75.634,79	98.245,09
jan/15	2.040,95	61.844,93	10.812,79	1.164,99	0,00	0,00	75.863,66	98.156,97
fev/15	3.249,78	51.855,78	10.388,42	0,00	0,00	0,00	65.493,98	93.737,08
mar/15	1.054,72	61.287,57	10.524,32	0,00	176,71	7,12	72.873,73	107.070,18
abr/15	564,22	99.162,09	10.778,94	1.097,29	294,33	77,11	111.679,65	172.849,78
mai/15	404,13	95.183,65	12.159,77	2.328,59	232,32	108,33	110.184,47	170.817,95
jun/15	619,96	86.989,52	11.755,29	1.284,19	252,99	118,17	100.767,13	157.290,05
Média	1.286,65	68.300,44	10.624,31	0,00	155,19	224,23	81.105,86	113.514,96
Total	16.726,50	887.905,68	138.116,07	8.266,92	2.017,43	2.690,78	1.054.376,18	1.475.694,51

Observa-se que apesar da empresa utilizar grupo gerador no horário de ponta, existe consumo da concessionária em kWh neste horário. Isso acontece porque eventualmente ocorrem falhas no sistema de alimentação por grupo gerador, que acabam momentaneamente consumindo energia da concessionária. Esta condição representa que existe margem para um ganho de aproximadamente R\$ 16.726,00 otimizando o funcionamento dos geradores no período. A análise dos demais itens da tabela será apresentada nas próximas sessões.

4.5 LEVANTAMENTO DAS DESPESAS COM O SISTEMA DE GERAÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA

A empresa não controla os dados de geração de energia dos geradores, no entanto, existe um medidor na sala de máquinas que apresenta o valor de energia gerado. Para uma estimativa do valor de consumo de energia no horário de ponta, obteve-se o valor registrado durante um

mês pela equipe de manutenção. Desta forma, com a quantidade de óleo diesel consumido neste mês para gerar a energia medida, foi possível fazer uma estimativa da quantidade de energia gerada por litro de combustível, sendo este valor de 3,28 kWh/l. Como há um controle de consumo mensal de óleo diesel, estimou-se os valores de geração de energia para os demais meses do período em análise. O resultado pode ser visualizado na Tabela 13, que apresenta na coluna 1 os meses analisados e nas demais colunas os dados de consumo de óleo diesel e a geração de energia correspondente.

Tabela 13. Consumo de óleo diesel e geração de energia no horário de ponta para o período de julho de 2014 a junho de 2015.

Mês	Consumo (l/mês)	R\$/mês (Diesel)	Geração (kWh/mês)
jul/14	12.524,00	35.943,88	41.082,59
ago/14	11.642,00	33.412,54	38.189,36
set/14	11.118,00	31.908,66	36.470,48
out/14	12.724,00	36.517,88	41.738,66
nov/14	11.317,00	32.479,79	37.123,26
dez/14	10.614,00	30.462,18	34.817,20
jan/15	8.399,00	24.105,13	27.551,32
fev/15	10.994,10	31.553,07	36.064,05
mar/15	12.637,80	36.270,49	41.455,89
abr/15	11.727,30	33.657,35	38.469,17
mai/15	11.390,70	32.691,31	37.365,02
jun/15	10.610,00	30.450,70	34.804,08
Média	11.308,16	32.454,41	37.094,26

Para se obter o valor real gasto no período de ponta, além do consumo de óleo diesel, os demais gastos com o sistema de geração própria instalado na indústria precisam ser mensurados. Assim, a partir do emprego da metodologia proposta por Lima (2003) apresentada no tópico 2.5 e, utilizando-se os dados relativos aos geradores existentes na indústria, conforme informações dispostas na Tabela 13, calculou-se o custo da geração de energia em R\$/kWh e da demanda em R\$/kW.

Para quantificar o valor gasto mensal com a geração de energia, foi necessário considerar todas as despesas envolvidas no processo, tais como, o investimento inicial com os geradores; o óleo diesel consumido; a manutenção (troca de filtros e lubrificantes); entre outros.

Os dados utilizados para o cálculo do valor da demanda foram: o investimento inicial com o grupo gerador e sua instalação (em R\$), a taxa de juros (11% a.a), a vida útil (20 anos) e o valor residual (em R\$) conforme Tabela 14.

Tabela 14. Dados para o cálculo do valor da demanda equivalente para os grupos geradores.

Potência do grupo gerador [kW]	972
Potência contínua (por gerador) [kW]	324
Potência emergencial (por gerador) [kW]	400
Investimento inicial total [R\$]	908.412,00
Valor presente [R\$]	176.217,06
Valor residual ⁷ [R\$]	78.767,30
Custo anual equivalente [R\$]	97.449,72
Custo mensal equivalente [R\$]	8.120,81
Ano de instalação	2001
Vida útil [anos]	20

Calculou-se o valor da demanda do gerador (R\$/kW) dividindo o custo mensal equivalente (R\$ 8.120,81) pela potência contínua somada dos três geradores (972 kW). Como resultado, o valor gasto com demanda com o grupo gerador foi R\$ 8,35/kW, valor abaixo ao praticado pela concessionária, R\$ 13,72/kW.

Somado a isso, foi realizado o cálculo do valor da energia gerada pelo grupo gerador [R\$/kWh], considerando os gastos anuais com lubrificantes e filtros. Nota-se que o lubrificante é trocado a cada 250 horas, o que equivale a três trocas por ano, com custo anual de R\$ 2.775,00. Já os filtros dos geradores são trocados a cada 125 horas, o que equivale a seis trocas por ano, sendo o custo de cada troca de R\$ 10.836,36. O valor total com os filtros e lubrificantes ficou em R\$ 13.611,36, conforme Tabela 15.

Tabela 15. Consumo e gastos anuais com lubrificantes e filtros do sistema de geração própria.

Item	Quantidade	Periodicidade (troca/ano)	Valor (R\$/unidade)	Total (R\$/ano)
Lubrificante	5	3	185	2.775,00
Filtro de ar	3	6	272,69	4.908,42
Filtro separador	6	6	37,16	1.337,76
Filtro lubrificante	3	6	146,35	2.634,30
Filtro de água	3	6	108,66	1.955,88
Óleo diesel	-	-	2,87	-
Total	-	-	-	13.611,36

⁷ Valor residual ao final da vida útil da unidade geradora.

Para encontrar o custo por hora, foi dividido o valor total pelo número de horas que os geradores são utilizados anualmente, que é 720h (12 meses x 60 horas/mês⁸), ou seja, há um gasto total de R\$ 18,91/hora (com filtros R\$ 15,09 e com lubrificantes R\$ 3,86).

Para o cálculo do consumo de diesel por hora foi utilizada a média aritmética do período em análise (julho de 2014 a junho de 2015), este que é de 11.308,16 l/mês (Tabela 13). Ao dividir este valor pelo número de horas que o gerador é utilizado em um mês (60h) obtém-se o valor de 188,47 l/h, ao multiplicar este valor pelo preço do óleo diesel⁹ comprado pela empresa, o gasto por hora foi de R\$ 540,91/h. Os valores encontrados estão expostos na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados para o cálculo do valor do custo do consumo equivalente para os grupos geradores.

Custo do óleo diesel [R\$/h]	540,91
Custo do lubrificante [R\$/h]	11,56
Custo dos filtros [R\$/h]	15,05
Total [R\$/h]	567,52

Considerando que a demanda seja de 737,1 kW¹⁰, para se obter o valor do consumo divide-se o custo do consumo equivalente para o grupo gerador, pela demanda registrada em um mês. Como resultado obteve-se o valor correspondente à geração própria de energia na indústria, que é R\$ 770,00/MWh, valor este inferior à tarifa de consumo no horário de ponta para a modalidade verde que é de R\$ 1.371,6 1/MWh, ou seja, ao se utilizar os geradores há um ganho de 43,86%.

4.6 TARIFAÇÃO DE ENERGIA

4.6.1 Dados levantados

Na Tabela 17 são apresentados os dados relativos ao consumo de energia elétrica da indústria para o período avaliado.

⁸ Considerando que o horário de ponta corresponde a 20 dias por mês com 3 horas de duração por dia, o valor total por mês é de 60h.

⁹ Valor do litro de óleo diesel no período em análise era de R\$ 2,87.

¹⁰ Valor obtido através de registro de demanda pela concessionária no horário de ponta em um momento de falha do gerador.

Tabela 17. Informações relativas à geração e utilização da energia elétrica da indústria analisada no período entre julho de 2014 e junho de 2015.

Potência instalada (máquinas em análise)	2.730,53 kW
Demanda média mensal registrada	827,96 kW
Consumo médio mensal de energia na ponta e fora de ponta	357,61 MWh
Custo médio mensal com energia (Concessionária)	R\$ 81.105,78 (sem impostos)
Custo médio mensal com energia (Geradores a diesel)	R\$ 33.722,03
Custo anual com energia (Concessionária)	R\$ 1.880.358,85 (com impostos)
	R\$ 1.459.040,51 (sem impostos)
Geração média mensal de energia	37,094 MWh
Consumo médio mensal de óleo diesel	11.308,16 l
Custo anual com geração própria e consumo na ponta	R\$ 404.664,33

A Figura 20 apresenta os valores de consumo de energia elétrica de julho de 2014 a junho de 2015 no horário de ponta e fora de ponta, estes que foram apresentados na Tabela 11 e Tabela 13, considerando que o valor apresentado no horário de ponta refere-se a estimativa do que seria consumido de energia elétrica caso não fosse utilizado o grupo gerador. O Consumo total representa o valor faturado pela concessionária de energia elétrica.

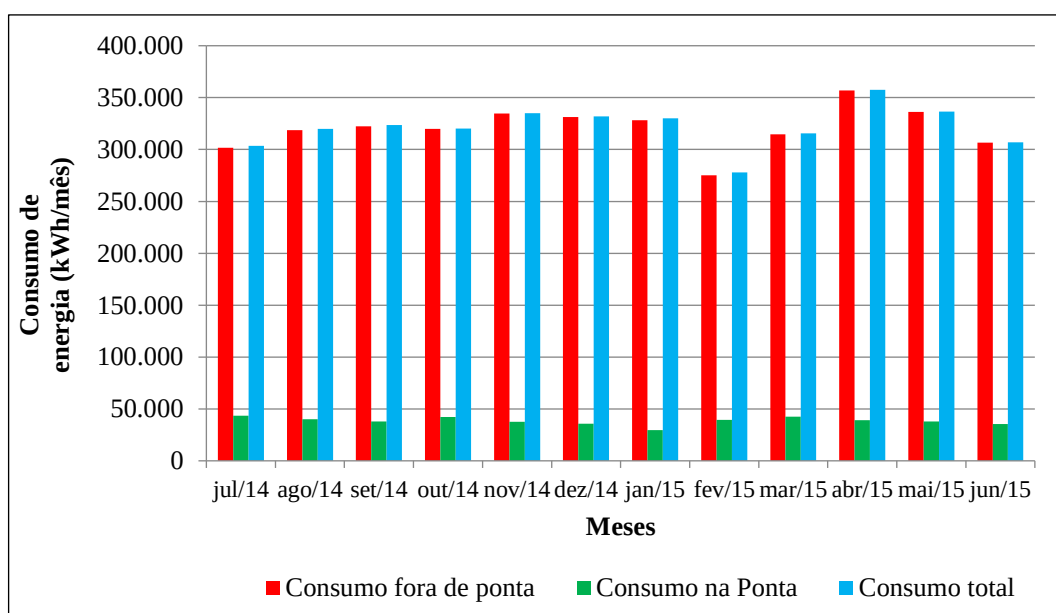


Figura 20 - Consumo de energia elétrica da indústria em kWh/mês.

Observa-se na Figura 20 que o consumo no mês de fevereiro foi menor que nos demais meses analisados, neste mês a produção da empresa foi de 297,5 toneladas, sendo que a média é de 380,4 toneladas/mês. O mês de maior consumo foi abril de 2015, porém este foi o mês em que houve a segunda maior produção, 425,6 toneladas, sendo que em março foi de 434,9

toneladas com um consumo 9,6% menor do que no mês em questão. Esta situação comprova que há possibilidade de melhorar o desempenho energético da produção.

A Figura 21, Figura 22 e Figura 23 apresentam os gráficos relativos a energia reativa e fator de potência, extraídos das faturas de energia elétrica da indústria, estes dados foram apresentados e podem ser visualizados na Tabela 11.

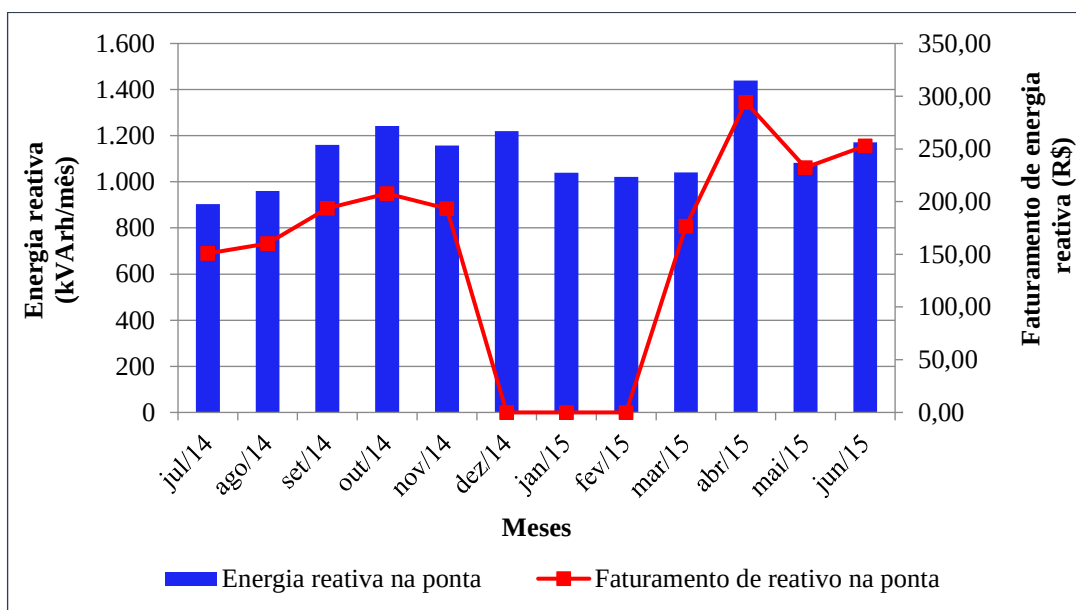


Figura 21 - Consumo e faturamento de energia reativa mensal na ponta (mensal).

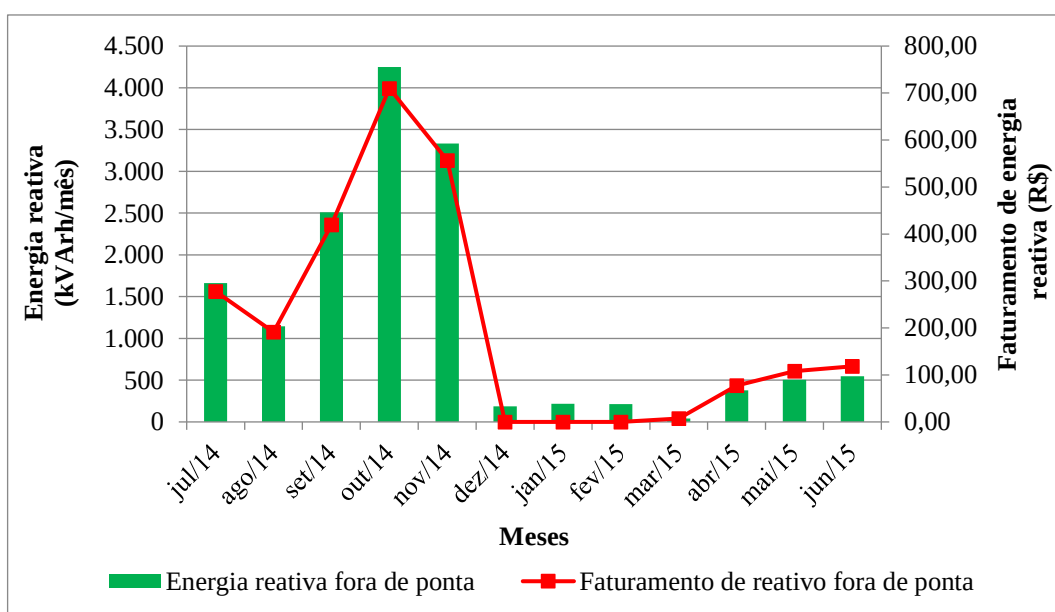


Figura 22 - Consumo e faturamento de energia reativa Fora de Ponta (mensal).

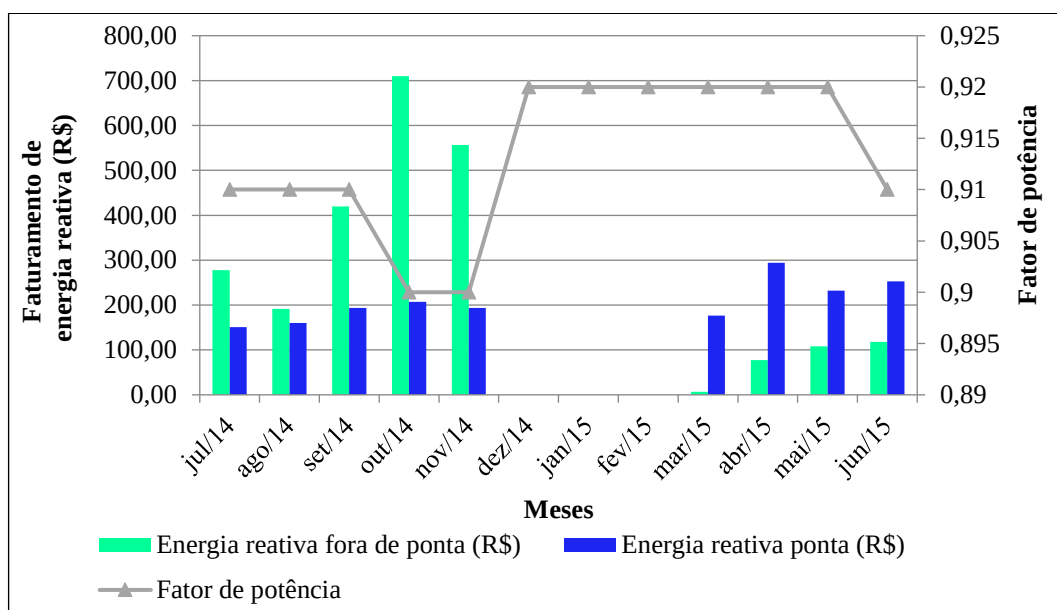


Figura 23 - Faturamento de energia reativa e fator de potência.

Observa-se que nos meses de dezembro de 2014 e janeiro e fevereiro de 2015 que o consumo de energia reativa excedente nos horários de ponta não ultrapassaram o limite tolerado, não gerando faturamento de excedente de reativo nestes meses. No entanto, observa-se que nos demais meses foi gerado faturamento de excedente de reativo. No horário de ponta, o mês com maior excedente foi abril de 2015, e fora de ponta, outubro de 2014.

A Figura 24 apresenta graficamente os dados de demanda registrada que estão presentes na Tabela 11. Verifica-se que ocorreram ultrapassagens do valor contratado de demanda em 11 meses, entretanto, cinco deles ficaram dentro da faixa de tolerância de 5% e seis ficaram acima do valor de tolerância, gerando multa por ultrapassagem.

Nota-se o aumento no histórico de demanda contratada e registrada, isto ocorreu por devido ao aumento de produção e pela coincidência de operação das máquinas.

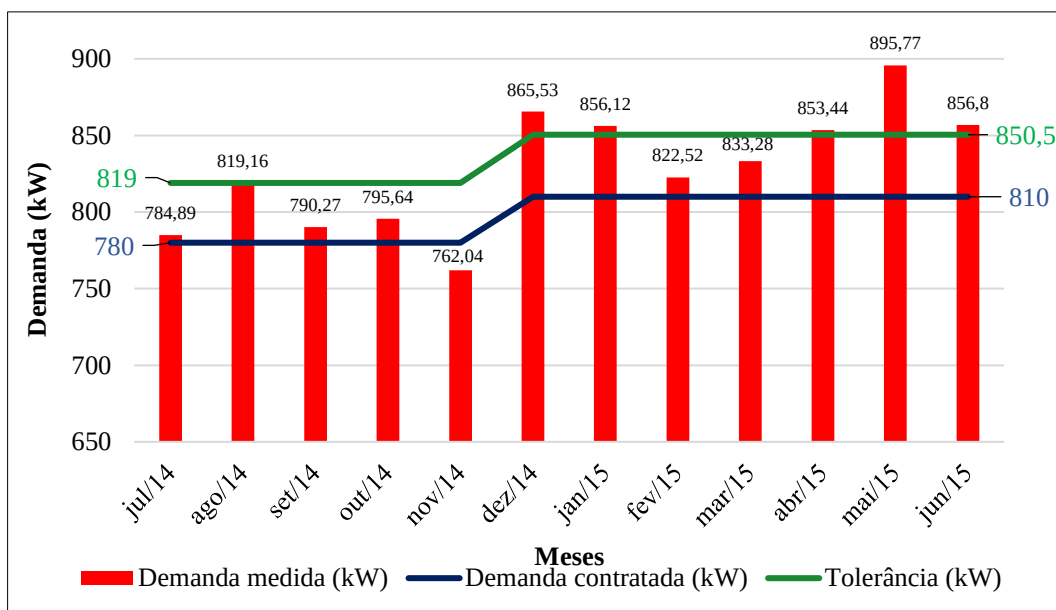


Figura 24 - Valores de demanda medida, contratada e o nível de tolerância.

Já a Figura 25 mostra o gráfico do faturamento referente à demanda, contidos nos dados apresentados na Tabela 12. Observa-se que em seis meses foram pagas multas por ultrapassagem.

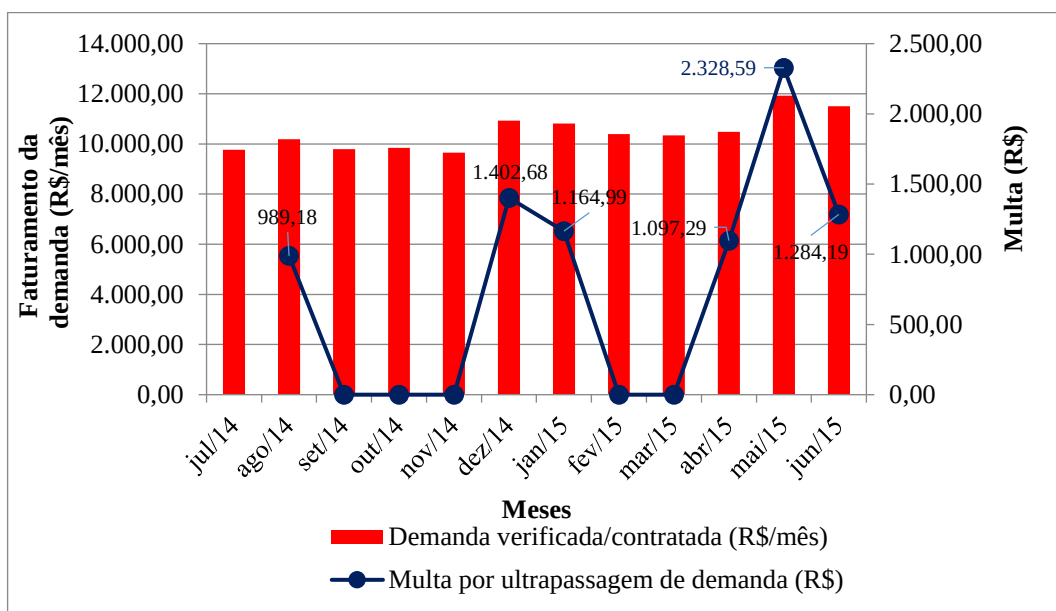


Figura 25 - Faturamento de demanda e ultrapassagens.

As despesas com energia elétrica foram levantadas e divididas entre valores gastos com a concessionária e com a geração própria na indústria. Com os dados foi calculado o valor percentual pago na ponta, em relação ao total, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Informações relativas à geração e utilização da energia elétrica da indústria analisada no período entre julho de 2014 e junho de 2015.

MÊS	Gasto total (R\$/mês)	Geração própria e consumo na ponta (R\$/mês)	Gasto na ponta em relação ao total (%)
jul/14	69.292,86	37.211,49	53,7%
ago/14	73.368,77	34.680,15	47,3%
set/14	72.532,62	33.176,27	45,7%
out/14	71.550,73	37.785,49	52,8%
nov/14	74.027,93	33.747,40	45,6%
dez/14	75.634,79	31.729,79	42,0%
jan/15	75.863,66	25.372,74	33,4%
fev/15	65.493,98	32.820,68	50,1%
mar/15	72.873,73	37.538,10	51,5%
abr/15	111.679,65	34.924,96	31,3%
mai/15	110.184,47	33.958,92	30,8%
jun/15	100.767,13	31.718,31	31,5%
Média	81.105,86	33.722,03	43%
Total	1.054.376,18	404.664,33	42%

Observa-se que abril, maio e junho de 2015 foram os meses com maior gasto com energia elétrica, isto deve-se ao aumento o tarifário aplicado. No entanto, percebe-se que o gasto na ponta não teve o mesmo aumento, uma vez que o preço do óleo diesel não sofreu variação significativa no período.

4.6.2 Análise tarifária

Para o cálculo das análises tarifárias foram consideradas as tarifas de energia elétrica das modalidades verde e azul sem impostos, fornecidas pela concessionária Energisa no estado de Mato Grosso do Sul, apresentadas na Figura 26.

Tarifas em R\$ - A4 (2,3 a 25kV)				
	Verde		Azul	
	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda
Horário de Ponta	1,37161	13,72	0,41154	39,64
Horário Fora de Ponta	0,2838	13,72	0,2838	13,72

Figura 26 - Tarifas de consumo e demanda para as modalidades verde e azul sem impostos

4.6.2.1 Primeira análise

Nesta análise, a empresa utilizaria a energia da concessionária no horário de ponta e fora de ponta. Como atualmente já se faz uso do grupo gerador não há dados sobre a demanda no horário de ponta pelas faturas de energia da concessionária, entretanto, foram utilizados os valores registrados nos períodos em que houve falha no sistema de geração própria, com consequente registro da concessionária. Para a análise tarifária foram verificadas as demandas mais vantajosas a serem contratadas tanto no horário de ponta quanto fora de ponta, e obteve-se o valor de 600 kW de demanda contratada no horário de ponta para tarifação azul, e 830 kW para o horário fora de ponta na tarifação verde. Somado a isso, o consumo na ponta foi obtido por meio dos dados de geração de energia na indústria.

Como resultado da análise, foi obtido o valor de faturamento mensal em cada uma das modalidades tarifárias, sendo estes mostrados na Tabela 19 e Tabela 20, sendo que a Tabela 19 é relativa ao enquadramento na modalidade verde e a Tabela 20 na modalidade azul. A Figura 27 apresenta a comparação entre os gastos mensais para as duas modalidades analisadas.

Tabela 19 – Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária considerando o período de julho de 2014 a junho de 2015 para a modalidade tarifária verde.

Mês	MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA VERDE						
	Consumo (R\$)			Demanda (R\$)			TOTAL
	Ponta	Fora de ponta	Total	Fora de ponta	Ultrapassada	Total	
jul/14	56.349,30	85.596,92	141.946,22	11.387,60	0,00	11.387,60	153.333,82
ago/14	52.380,91	90.392,85	142.773,76	11.387,60	0,00	11.387,60	154.161,36
set/14	50.023,27	91.511,88	141.535,15	11.387,60	0,00	11.387,60	152.922,75
out/14	57.249,16	90.781,09	148.030,25	11.387,60	0,00	11.387,60	159.417,85
nov/14	50.918,64	94.955,51	145.874,14	11.387,60	0,00	11.387,60	157.261,74
dez/14	47.755,63	93.998,25	141.753,87	11.875,07	0,00	11.875,07	153.628,95
jan/15	37.789,66	93.161,32	130.950,99	11.745,97	0,00	11.745,97	142.696,95
fev/15	49.465,81	78.113,96	127.579,77	11.387,60	0,00	11.387,60	138.967,37
mar/15	56.861,32	89.295,12	146.156,43	11.432,60	0,00	11.432,60	157.589,04
abr/15	52.764,70	101.303,83	154.068,53	11.709,20	0,00	11.709,20	165.777,73
mai/15	51.250,24	95.452,72	146.702,96	12.289,96	1.804,73	14.094,69	160.797,65
jun/15	47.737,63	86.989,52	134.727,15	11.755,30	0,00	11.755,30	146.482,45
Total	610.546,26	1.091.552,98	1.702.099,24	139.133,70	1.804,73	140.938,43	1.843.037,67

Tabela 20 - Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária considerando o período de julho de 2014 a junho de 2015 para a modalidade tarifária azul.

Mês	MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA AZUL								
	Consumo (R\$)			Demanda (R\$)					TOTAL
	Ponta	Fora de ponta	Total	Ponta	Fora de ponta	Ultrapassada na Ponta	Ultrapassada fora de ponta	Total	
jul/14	16.907,13	85.596,92	102.504,05	29.216,66	11.387,60	8.486,92	0,00	49.091,19	151.595,24
ago/14	15.716,45	90.392,85	106.109,30	23.784,00	11.387,60	0,00	0,00	35.171,60	141.280,90
set/14	15.009,06	91.511,88	106.520,94	23.784,00	11.387,60	0,00	0,00	35.171,60	141.692,54
out/14	17.177,13	90.781,09	107.958,22	23.784,00	11.387,60	0,00	0,00	35.171,60	143.129,82
nov/14	15.277,71	94.955,51	110.233,21	23.784,00	11.387,60	0,00	0,00	35.171,60	145.404,81
dez/14	14.328,67	93.998,25	108.326,92	23.784,00	11.875,07	0,00	0,00	35.659,07	143.985,99
jan/15	11.338,47	93.161,32	104.499,79	24.799,97	11.745,97	0,00	0,00	36.545,94	141.045,73
fev/15	14.841,80	78.113,96	92.955,76	25.092,91	11.387,60	239,43	0,00	36.719,94	129.675,70
mar/15	17.060,76	89.295,12	106.355,87	23.784,00	11.432,60	0,00	0,00	35.216,60	141.572,48
abr/15	15.831,60	101.303,83	117.135,43	23.784,00	11.709,20	0,00	0,00	35.493,20	152.628,63
mai/15	15.377,20	95.452,72	110.829,92	23.784,00	12.289,96	0,00	1.804,73	37.878,69	148.708,62
jun/15	14.323,27	86.989,52	101.312,80	23.784,00	11.755,30	0,00	0,00	35.539,30	136.852,09
Total	183.189,25	1.091.552,98	1.274.742,23	293.165,55	139.133,70	8.726,35	1.804,73	442.830,32	1.717.572,55

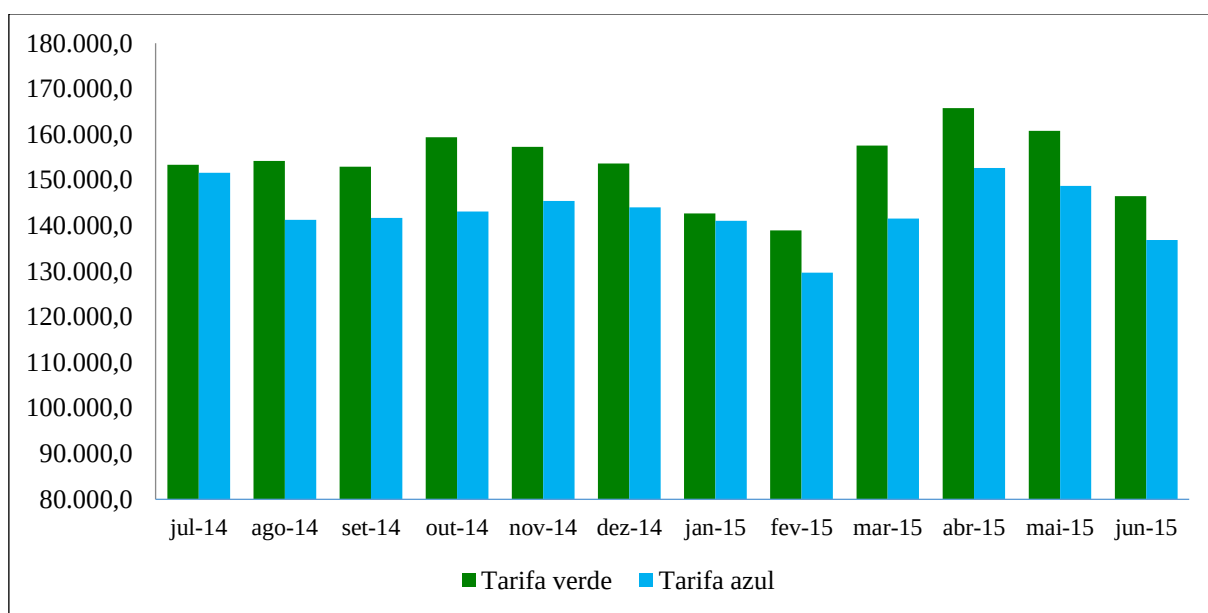


Figura 27 - Simulação da análise tarifária para as estruturas verde e azul.

Nota-se que a média de despesas com a modalidade verde é de R\$ 146.482,45 ao mês e a média com a modalidade azul é de R\$ 136.852,09 ao mês. Por conseguinte, o gasto anual com a modalidade verde é 7,3% maior que com a azul, sendo a diferença de R\$ 10.455,44 ao mês, ou seja, R\$ 125.465,10 ao ano.

Desta forma, nota-se que a modalidade tarifária azul é a mais vantajosa, caso a empresa não faça uso de geradores, uma vez que a modalidade azul é mais interessante quando o consumo de energia no horário de ponta é alto, aumentando o fator de carga.

4.6.2.2 Segunda análise

Esta análise foi realizada levando em consideração a utilização de geradores do sistema de geração própria, instalado na empresa. Nesta configuração, os geradores são utilizados no horário de ponta e a alimentação via concessionária no horário fora de ponta.

Segundo a Figura 26, o valor da tarifa cobrada no horário fora de ponta para demanda e consumo é o mesmo para as modalidades azul e verde. Desta forma, em comparação com a primeira análise, onde o faturamento médio calculado para a tarifação verde foi de R\$ 153.586,47/mês e para a tarifação azul de R\$ 143.131,05/mês, observa-se que ao se utilizar o sistema de geração própria no horário de ponta há uma economia mensal de R\$ 17.501,58 em relação a modalidade verde e de R\$ 7.046,16 em relação a modalidade azul, conforme Tabela 21. A economia anual, portanto, ao utilizar os geradores ao invés da energia da concessionária é de R\$ 84.553,89 caso o consumidor estivesse na enquadrado na modalidade azul.

A Tabela 21 apresenta as despesas com energia elétrica utilizando-se o grupo gerador no horário de ponta, com valor total anual de demanda e consumo de R\$ 1.637.155,74.

Tabela 21 - Despesas com energia elétrica relativas à utilização da energia elétrica da concessionária no período fora de ponta e geradores a diesel no horário de ponta.

Mês	Consumo (R\$)			Demanda (R\$)					TOTAL (R\$)
	Ponta	Fora de ponta	Total	Ponta	Fora de ponta	Ultrapassada na ponta	Ultrapassada fora de ponta	Total	
jul/14	37.211,49	85.596,92	122.808,41	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	134.196,01
ago/14	34.680,15	90.392,85	125.073,01	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	136.460,61
set/14	33.176,27	91.511,88	124.688,15	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	136.075,75
out/14	37.785,49	90.781,09	128.566,59	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	139.954,19
nov/14	33.747,40	94.955,51	128.702,91	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	140.090,51
dez/14	31.729,79	93.998,25	125.728,04	0,00	11.875,07	0,00	0,00	11.875,07	137.603,11
jan/15	25.372,74	93.161,32	118.534,07	0,00	11.745,97	0,00	0,00	11.745,97	130.280,03
fev/15	32.820,68	78.113,96	110.934,64	0,00	11.387,60	0,00	0,00	11.387,60	122.322,24
mar/15	37.538,10	89.295,12	126.833,22	0,00	11.432,60	0,00	0,00	11.432,60	138.265,82
abr/15	34.924,96	101.303,83	136.228,79	0,00	11.709,20	0,00	0,00	11.709,20	147.937,99
mai/15	33.958,92	95.452,72	129.411,65	0,00	12.289,96	0,00	1.804,73	14.094,69	143.506,34
jun/15	31.718,31	86.989,52	118.707,84	0,00	11.755,30	0,00	0,00	11.755,30	130.463,13
Total	404.664,33	1.091.552,98	1.496.217,31	0,00	139.133,70	0,00	1.804,73	140.938,43	1.637.155,74

Logo, pode-se dizer que utilizar geradores no horário de ponta é mais vantajoso para a empresa. No entanto, deve-se observar que as máquinas que constituem o sistema de geração própria estão sujeitas a falhas. Desta forma, quando se utiliza geradores no horário de ponta recomenda-se que se adote a modalidade verde, uma vez que o consumidor paga o mesmo valor pela demanda registrada na ponta ou fora de ponta (R\$ 27,44/kW).

No entanto, se o consumidor estiver enquadrado na modalidade azul ele terá que contratar uma demanda no horário de ponta mesmo que não haja consumo, pois caso não seja

estipulada esta demanda no horário de ponta em contrato, qualquer demanda registrada neste horário será cobrada do consumidor como demanda de ultrapassagem, que é duas vezes maior que o valor de demanda normal.

4.6.3 Análise da demanda contratada

De acordo com os dados da Figura 24 o consumidor não está com o contrato de demanda otimizado, isto porque como pode ser notado ocorreram nove ultrapassagens de demanda no período analisado. Sendo que em cinco delas ficaram dentro da tolerância e seis acima desta faixa, e de todas as medições, apenas um mês ficou abaixo da demanda contratada. Desta forma, para se determinar o valor que representa a menor despesa com demanda foram calculados diferentes valores de demanda contratada, baseados nos registros de demanda para o período de julho de 2014 a junho de 2015.

A Tabela 22 mostra a simulação para as demandas de 800, 810, 820, 830 e 840 kW e apresenta as suas respectivas despesas. Observa-se que o contrato de demanda atual de demanda da empresa é de 810 kW. A tabela 23 apresenta os valores da demanda medida e o valor das despesas com as demandas simuladas.

Tabela 22 - Faturamento mensal e anual para os valores de demanda considerados.

Mês	Demanda Medida (kW)	Despesa (R\$)				
		800 kW	810 kW	820 kW	830 kW	840 kW
jul/14	819,16	10.856,00	10.991,70	11.127,40	11.263,10	11.398,80
ago/14	790,27	11.116,00	11.116,00	11.127,40	11.263,10	11.398,80
set/14	795,64	10.856,00	10.991,70	11.127,40	11.263,10	11.398,80
out/14	762,04	10.856,00	10.991,70	11.127,40	11.263,10	11.398,80
nov/14	865,53	10.856,00	10.991,70	11.127,40	11.263,10	11.398,80
dez/14	856,12	13.523,73	13.252,33	12.980,93	11.745,24	11.745,24
jan/15	822,52	13.140,65	12.869,25	11.617,55	11.617,55	11.617,55
fev/15	833,28	11.161,60	11.161,60	11.161,60	11.263,10	11.398,80
mar/15	853,44	11.307,61	11.307,61	11.307,61	11.307,61	11.398,80
abr/15	895,77	13.031,54	12.760,14	11.581,18	11.581,18	11.581,18
mai/15	856	14.754,80	14.483,40	14.212,00	13.940,60	13.669,20
jun/15	880	13.556,36	13.556,36	13.556,36	13.556,36	13.556,36
Média	835,81	12.084,69	12.039,46	11.837,85	11.777,26	11.830,09
Total	-	145.016,27	144.473,47	142.054,21	141.327,13	141.961,12

Os valores anuais das despesas simuladas foram plotados no gráfico da Figura 28. Nota-se que a demanda de 830 kW representa a menor despesa anual (R\$ 141.327,13). O gráfico da Figura 29 apresenta a economia de cada simulação em relação ao atual contrato de demanda. Logo, observa-se que caso o consumidor contrate a demanda de 830 kW, teria uma economia maior, equivalente a R\$ 3.146,34 ao ano. Em contraponto, observa-se também que contratar uma demanda muito acima do necessário não é vantajoso.

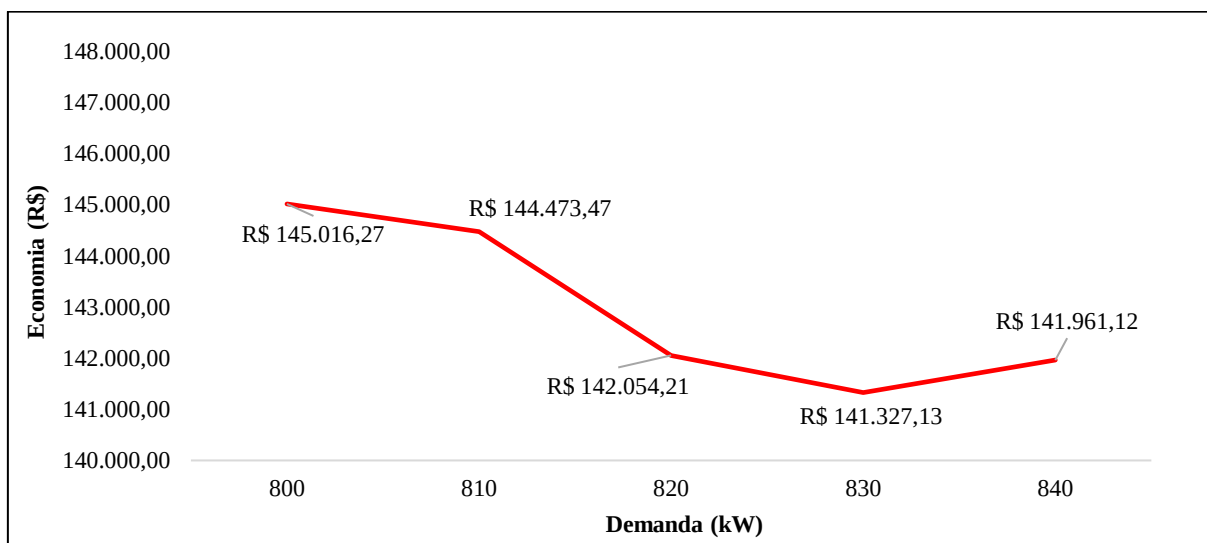


Figura 28 - Faturamento anual referente aos diferentes valores de demanda simulados, considerando o histórico de demanda do período de julho/2014 a junho de 2015.

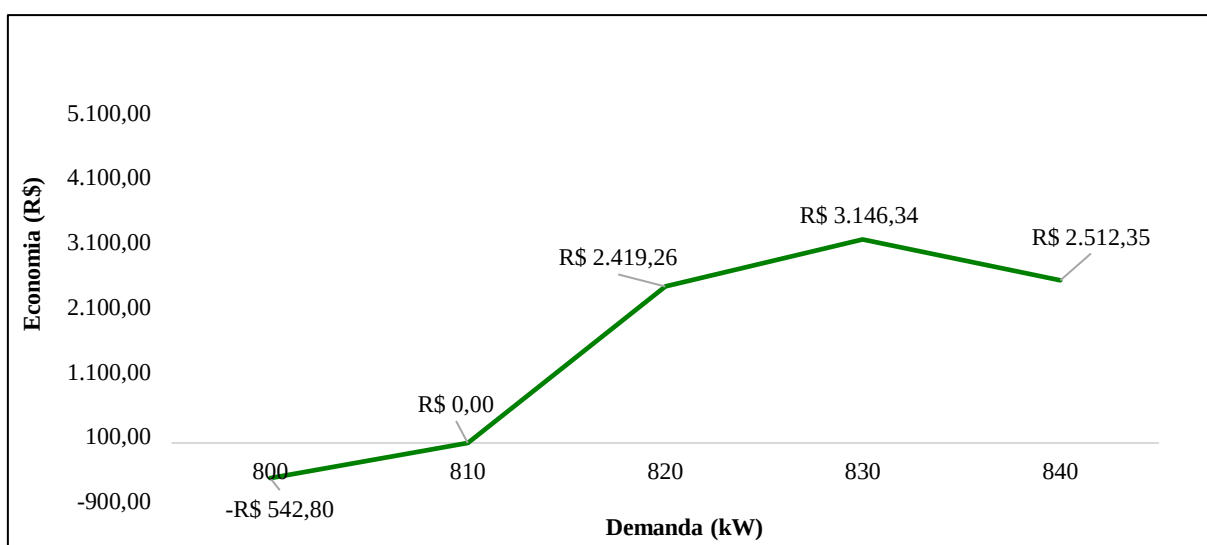


Figura 29 - Economia anual referente aos diferentes valores de demanda simulados, considerando o histórico de demanda do período julho/2014 a junho de 2015.

Vale ressaltar que o cálculo de otimização da demanda contratada foi realizado com os dados do histórico dos últimos doze meses, e é adequado para o histórico analisado da empresa, entretanto, caso haja a inclusão ou retirada de cargas será necessário refazer estes cálculos.

4.7 APLICAÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os indicadores de eficiência energética são utilizados para averiguação das melhorias obtidas com ações de eficiência. Estes podem ser utilizados para comparar máquinas de diferentes fabricantes que realizam o mesmo serviço e a que possuir menor consumo específico representará menores gastos com energia elétrica, sendo este, portanto, este indicador que deve ser avaliado. Os indicadores também podem ser empregados para a verificação do consumo específico de produção em diferentes horários, que é o que será avaliado no momento.

4.7.1 Fator de carga

Para o cálculo do Fator de Carga (FC) o tempo estipulado foi de 730 horas por mês, que é obtido por 365 dias do ano, dividido pelos 12 meses e multiplicado pelas 24 horas do dia.

De acordo com Oliveira (2006), deve-se verificar o FC das últimas 12 faturas de energia elétrica. Através destes dados, verificam-se os meses onde o FC está mais próximo de um, avaliam-se os fatos ocorridos, e buscam-se formas de gestão para manter o fator de carga neste valor. O gráfico da Figura 30 apresenta a média mensal do FC na indústria. O gráfico da Figura 30 foi elaborado utilizando dados de consumo (na ponta e fora de ponta) dividido pelos dados da demanda verificada (Tabela 11), multiplicado pelo tempo (730 horas).

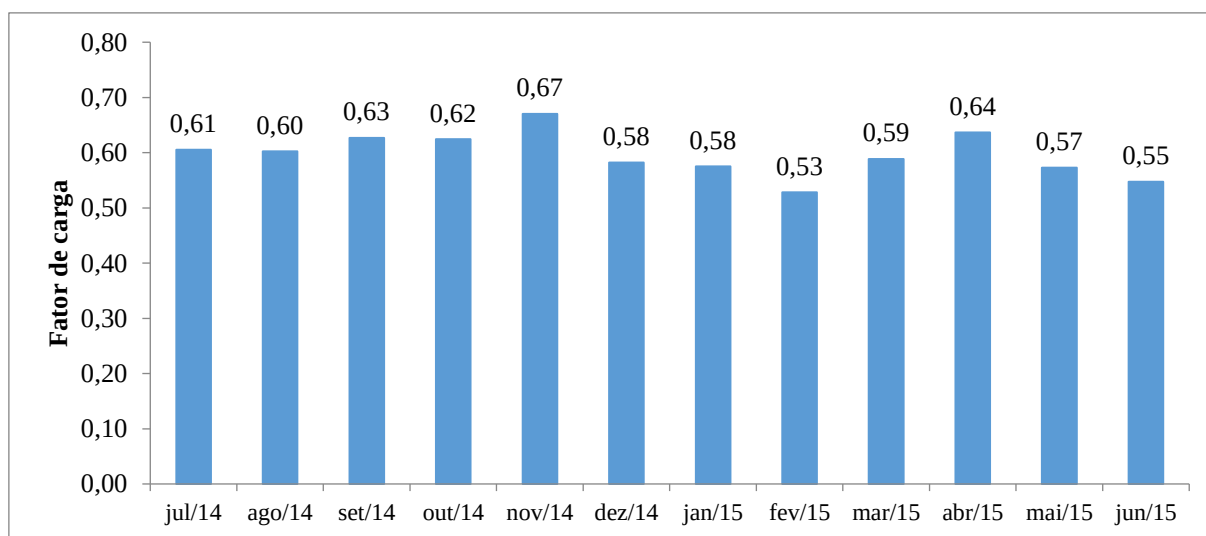


Figura 30 - Fator de carga entre julho de 2014 a junho de 2015.

Para o período em análise FC médio observado foi de 0,59 (desvio padrão de 0,03), variando entre 0,53 e 0,67 ao longo dos 12 meses do ano. Observa-se que os valores estão distantes do ideal. Isso se deve a grande variação da demanda ao longo de tempo, que se repete durante os ciclos de operação das máquinas. No entanto, para efeitos de comparação, um estudo realizado pelo Procel (2006) com 83 empresas distribuídas pelo Brasil, cuja atividade é a de fabricação de artigos de borracha e de material plástico apontou que a média do FC das empresas era de 0,45, portanto, conclui-se que apesar de existir possibilidade de melhoria o FC da empresa está acima da média nacional.

Nota-se que os melhores FCs foram obtidos nos meses de maior consumo de energia, e maior produção, mostrando que em períodos onde a utilização das máquinas é maior, a homogeneidade da demanda também é melhor, elevando o FC do período.

O exposto acima fica melhor compreendido por meio da investigação da curva de demanda da indústria. Para obtê-la foi utilizada a memória de massa do mês de abril de 2015. No gráfico da Figura 31 são apresentadas as curvas de demanda da unidade consumidora para três dias da semana. Nota-se que não há uniformidade na utilização da demanda, ou seja, o uso da energia elétrica não é eficiente, isto porque ocorrem muitas variações na demanda ao longo do dia, e o ideal é que não ocorram tantos picos e vales como se observa.

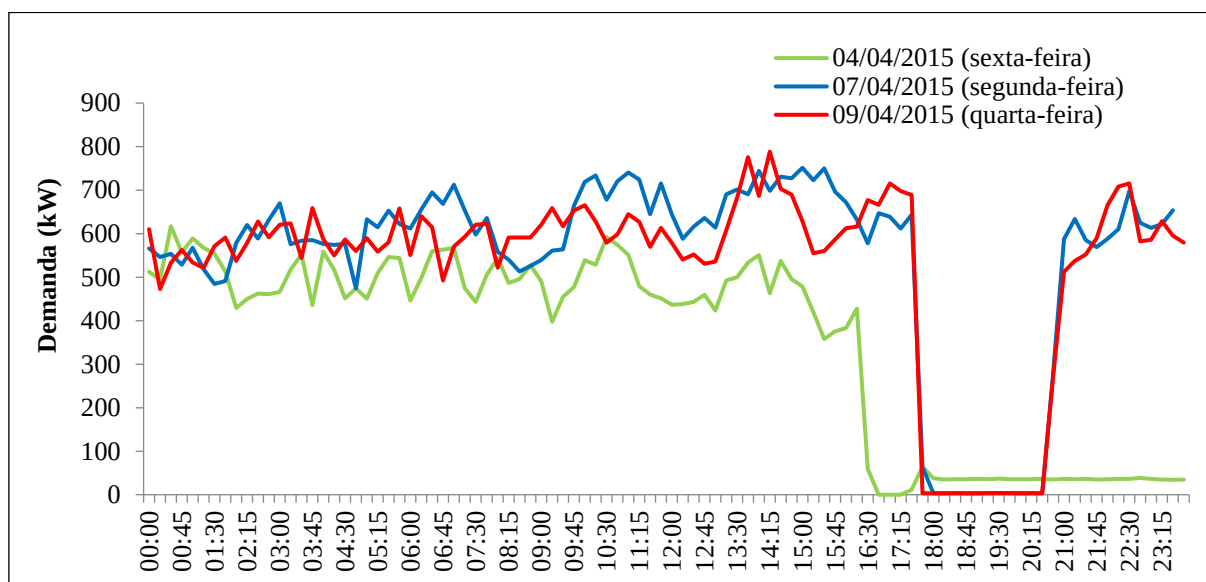


Figura 31 - Curva de demanda obtida por meio da memória de massa para o mês de abril de 2015.

No horário de ponta como a unidade utiliza grupos geradores não há registro pela concessionária da demanda neste horário, por isto há uma queda nos valores. Observa-se

também um padrão de redução da demanda a partir das 11 horas, isto porque este é o horário de almoço dos funcionários. Desta forma algumas máquinas têm sua produção interrompida, porém, geralmente são cargas pequenas, sem grande impacto no processo produtivo e no consumo de energia elétrica. Máquinas como as extrusoras e impressoras, que são as maiores cargas, não podem ser desligadas por conta da dificuldade de *setup*¹¹ e desperdício excessivo de material ao realizar os acertos iniciais.

Considerando que o desenvolvimento de um serviço, ou a fabricação de um produto, depende da energia, ou seja, depende da integral da potência no tempo de realização do processo, normalmente é possível a empresa obter diferentes curvas de demanda para o desenvolvimento de um mesmo processo. Neste sentido, sugere-se deslocar a operação de máquinas não essenciais para o processo produtivo para outros horários, previamente selecionados, em que a demanda do sistema elétrico é menor.

Na indústria em questão o consumo de energia não é mandatório na operação das máquinas, mas sim a produção, conseqüentemente o consumo de energia varia de acordo com a necessidade de produção. Mesmo assim, há na empresa algumas máquinas de potência elevada que poderiam ser desligadas em momentos estratégicos, visando a redução de picos de demanda, como exemplo a máquina recuperadora e os insufladores.

Atualmente na empresa sempre que há produção os insufladores são ativados, já a recuperadora é utilizada todos os dias no período das 07h00min às 17h00min.

Para verificar a demanda evitada proveniente de cada uma das cargas citadas foram realizadas medições com o aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul e a análise e processamento dos dados foi realizado no *software* Excel. Os dados obtidos foram: corrente (A), tensão (V), potência ativa (kW), potência aparente (kVA), potência reativa (kVAr) e fator de potência.

Para a recuperadora a demanda média medida foi de 25,82 kW e a máxima 53,88 kW, já para os insufladores a média foi de 41,36 kW e a máxima de 48,55 kW. Observa-se, portanto, que há uma demanda média total de 74,37 kW, que poderia ser desligada em momentos de maior exigência da rede elétrica da concessionária. Visando, desta forma, otimizar a curva de demanda da empresa. Este desligamento pode ser realizado de forma automática.

¹¹ Procedimento de configuração dos parâmetros iniciais para a produção.

4.7.2 Preço médio

Os consumidores enquadrados na tarifa monômnia, são exclusivamente faturados pelo consumo de energia, como no caso da maioria dos consumidores residenciais. Neste caso, o preço médio da energia coincide com a própria tarifa de consumo, acrescida dos impostos e taxas definidas por unidade de energia. Todavia, para a tarifa binômnia, com a inserção da demanda de potência na fatura e, conseqüentemente, sua variação ao longo dos meses, para avaliação da gestão energética é necessária uma metodologia que determine o preço de cada unidade de energia. Este indicador de gestão energética é denominado preço médio da energia e é dado em R\$/kWh.

Considerando as diferentes formas de utilização da energia, e sua associação com o fator de carga, consumidores de uma mesma modalidade tarifária, sujeitos às mesmas tarifas, podem apresentar preços médios de energia diferentes. Neste sentido, observa-se que quanto maior o fator de carga, menor será o preço médio da energia elétrica pago pela unidade consumidora [Haddad et. al, 2005]. O gráfico da Figura 32 apresenta os valores de consumo e preço médio da indústria nos meses dos meses em análise.

O preço médio foi calculado utilizando a Equação 7 apresentada no tópico 2.4.1, sendo este referente ao consumo total, que é um valor intermediário entre o preço médio na ponta e fora de ponta. Para o cálculo, portanto, foram consideradas as despesas com a energia elétrica paga para a concessionária, em que o consumo predominante é no horário fora de ponta, e com os grupos geradores no horário de ponta (Tabela 23).

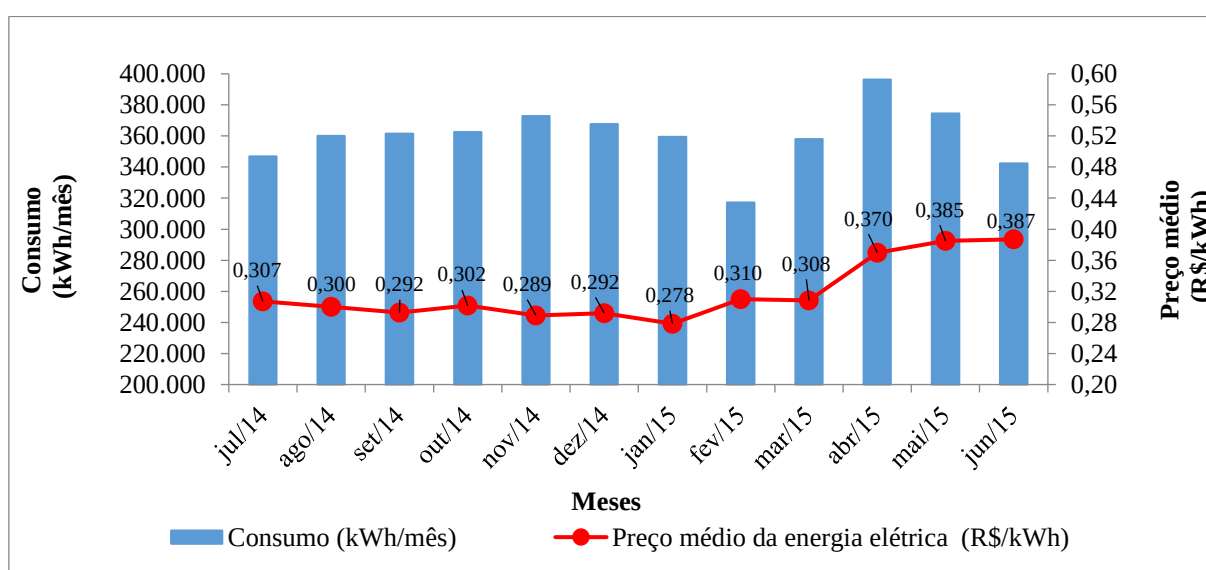


Figura 32 - Evolução do preço médio de energia elétrica considerando a energia consumida na ponta e fora de ponta para o período de julho de 2014 a junho de 2015.

Os aumentos sucessivos no preço médio verificados a partir de março ocorreram por conta da revisão e reajuste tarifários ocorridos em 2015. A revisão tarifária extraordinária (março) acarretou em um aumento de 9,35% na tarifa de consumo na ponta e 47,45% fora de ponta (28,4% em média). Além disto, houve um aumento de 83,34% no valor da tarifa da bandeira vermelha e de 66,67% na bandeira amarela.

Já no mês de abril ocorreu o reajuste tarifário gerando um acréscimo de 3,56% na tarifa de consumo na ponta e de 2,16% fora de ponta, e 8,63% na tarifa de demanda.

Observa-se que mesmo com a redução do consumo em março e abril de 2015 o preço médio se elevou, por conta do aumento tarifário mencionado acima, que teve como principal motivação reaver os prejuízos sofridos pelas concessionárias de energia em 2013 e 2014. O cenário vivido em 2015 e nos dias atuais é conhecido como realismo tarifário, pois este é capaz de remunerar sem prejuízos as concessionárias de energia. Portanto, não há indícios de que haja queda no preço de energia e sim, apenas aumentos, o que reforça a necessidade por ações de eficiência energética.

O gráfico da Figura 33 mostra o preço médio apenas para energia consumida da concessionária de energia. Como esperado, este valor é inferior ao preço médio verificado na Figura 32, isto porque a energia no horário de ponta, mesmo utilizando geradores, é superior a energia paga fora de ponta.

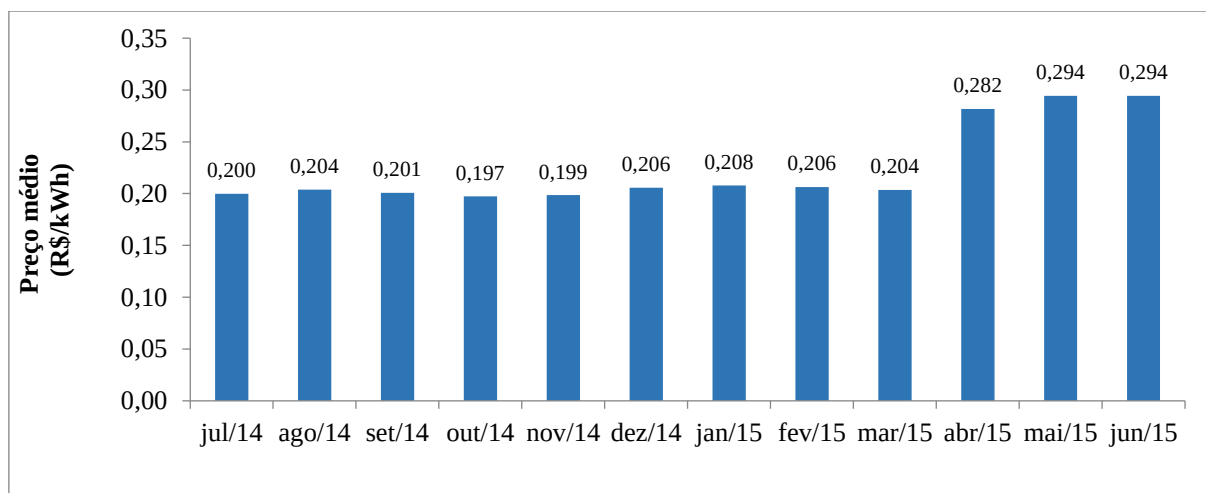


Figura 33 - Evolução do preço médio de energia elétrica considerando a energia consumida apenas da concessionária para o período de julho de 2014 a junho de 2015.

Em agosto de 2014 houve um aumento no preço médio em relação a julho por conta do consumo no horário de ponta devido à falha no grupo gerador e também por conta de ultrapassagem de demanda (7,1% maior). Nos meses seguintes verifica-se a redução do preço

médio isto porque não ocorreram falhas e nem ultrapassagens de demanda, exceto em dezembro, em que a demanda foi ultrapassada. Em janeiro de 2015 iniciou-se a vigência das bandeiras tarifárias no sistema elétrico, acarretando em um aumento no preço médio em relação a dezembro de 2014 (8,47%). Observa-se novamente os aumentos significativos ocorridos a partir de março de 2015.

O preço médio como já mencionado é um indicador de eficiência energética, que depende da forma como cada consumidor utiliza a energia disponibilizada, variando com a demanda contratada, a ultrapassagens de demanda, e o consumo de energia reativa excedente, no caso da unidade consumidora em estudo, há variação com o uso de energia no horário de ponta da rede da concessionária. Além destes motivos, o preço médio, obviamente, está atrelado ao consumo de energia, este que por sua vez, varia de acordo com a produção da empresa.

Considerando que a energia elétrica é um dos principais insumos industriais, e que seu custo impacta diretamente o preço final dos produtos produzidos, obter um preço médio menor é uma forma de melhorar a competitividade da empresa. Desta forma, sugere-se sempre buscar fontes alternativas para o fornecimento de energia, como a possibilidade de substituição do consumo cativo de energia pelo consumo no mercado livre ou a utilização complementar de sistemas próprios de geração de energia, sendo que a decisão da aderência ao mercado livre e utilização de geradores a diesel são avaliadas por meio de análises de viabilidade. Além disto, é essencial que se avalie mensalmente as faturas, visando a eliminação de multas por ultrapassagens de demanda e por baixo fator de potência.

4.7.3 Consumo específico e custo específico

O indicador que possibilita acompanhar o custo da energia sobre o produto fabricado é o custo específico. Para a empresa analisada, sua produção pode ser medida em tonelada de embalagens plásticas produzidas por mês. O consumo e custo específico para a empresa são mostrados na Tabela 23 e Figura 34.

Tabela 23 - Indicadores de eficiência energética para o período de julho de 2014 a junho de 2015.

MÊS	Consumo total incluindo geração [kWh]	Faturamento [R\$]	Preço médio [R\$/kWh]	Produção mensal total [toneladas]	Consumo específico [kWh/t]	Custo específico [R\$/t]
jul/14	346.851,95	106.504,35	0,307	357,00	971,57	298,33
ago/14	360.048,40	108.048,92	0,300	374,68	960,94	288,37
set/14	361.445,51	105.708,89	0,292	384,87	939,15	274,66
out/14	362.577,55	109.336,22	0,302	404,50	896,36	270,30

(Continuação)

MÊS	Consumo total incluindo geração [kWh]	Faturamento [R\$]	Preço médio [R\$/kWh]	Produção mensal total [toneladas]	Consumo específico [kWh/t]	Custo específico [R\$/t]
nov/14	372.775,08	107.775,33	0,289	400,23	931,40	269,28
dez/14	367.673,15	107.364,58	0,292	389,84	943,13	275,40
jan/15	359.541,27	100.071,41	0,278	408,87	879,35	244,75
fev/15	317.239,83	98.314,66	0,310	297,56	1.066,15	330,41
mar/15	358.016,61	110.411,83	0,308	434,96	823,10	253,84
abr/15	396.414,39	146.604,61	0,370	425,61	931,40	344,45
mai/15	374.403,15	144.143,39	0,385	423,96	883,12	340,00
jun/15	342.393,04	132.485,44	0,387	397,88	860,55	332,98
Média	359.948,33	114.730,81	0,32	391,66	923,85	293,57

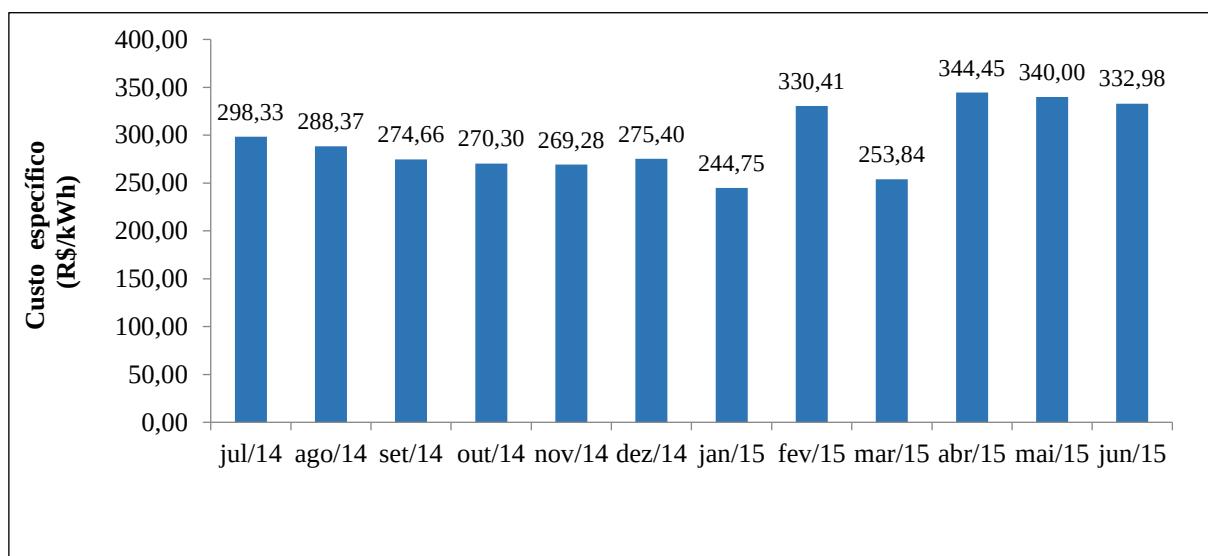


Figura 34 - Custo específico de energia elétrica da empresa estudada para o período de agosto de 2014 a junho de 2015.

Realizar o rateio dos produtos produzidos no horário de ponta e fora de ponta seria algo dispendioso, portanto calculou-se o consumo e custo específico total. Como a demanda de produção é elevada, deixar de produzir no horário de ponta não é uma opção. A alternativa encontrada para reduzir o consumo neste horário é utilizá-lo como horário de refeição para os funcionários, parando parcialmente a fábrica, além de usar o grupo gerador para reduzir os gastos neste horário.

Observa-se que a empresa gastava em média R\$ 279,39 por tonelada em 2014, já em 2015 passou a gastar R\$ 307,74 para cada tonelada produzida, um aumento de 10,14% nos

gastos com energia elétrica para produzir cada tonelada de produto devido aos aumentos de energia mencionados.

Com relação ao consumo específico este sofreu pouca variação ao longo do ano, isto porque a produção da empresa não obedece a uma sazonalidade. No entanto, em fevereiro a produção foi baixa, redução de 27% em comparação com o mês anterior, porém, o consumo de energia foi alto, elevando, desta forma o consumo específico. Verifica-se, entretanto, que não houve grande variação do consumo ao se produzir mais, pois no mês de março a produção foi 46,17% maior que a de fevereiro, porém o consumo específico foi 22% menor. Conclui-se, que desta forma, que devem ser realizadas melhorias no processo produtivo, pois não se verifica relação direta entre o consumo de energia elétrica e a quantidade de produtos produzidos.

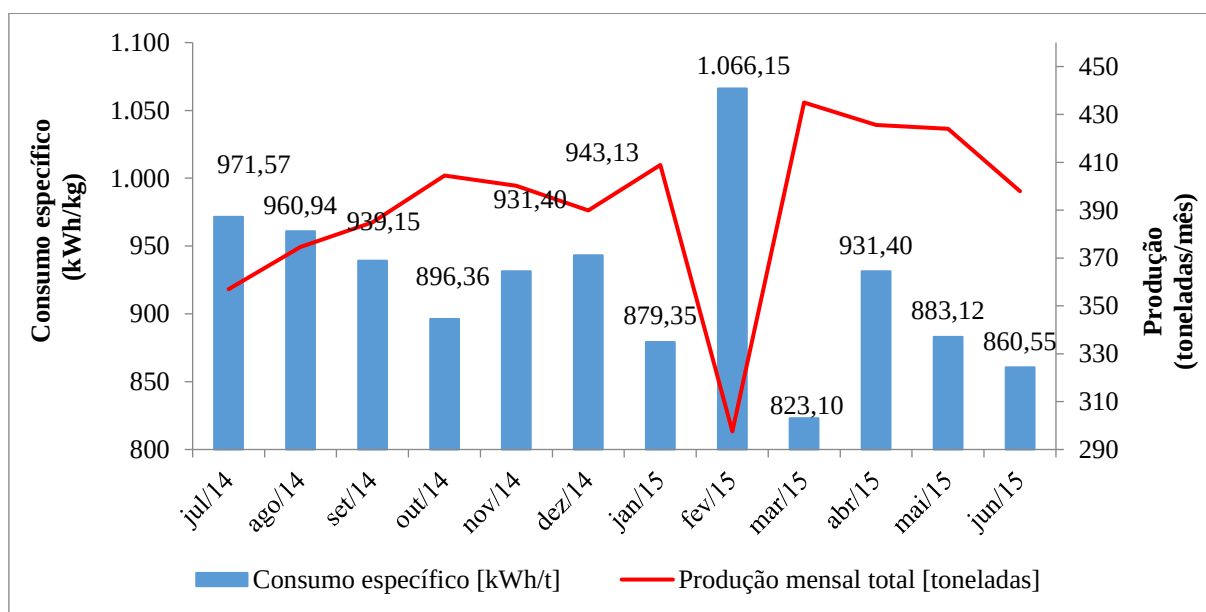


Figura 35 - Consumo específico de energia elétrica e produção da empresa para o período de agosto de 2014 a junho de 2015.

Além do custo e consumo específico total da instalação foi feito um estudo sobre estes indicadores em duas máquinas da empresa, a extrusora 4 e impressora 2 que de acordo com os dados da Tabela 12, possuem potência instalada de 126,3 kW e 190,2 kW respectivamente.

Os dados de consumo específico foram obtidos por meio de medições realizadas com o analisador de energia RE 7000 da Embrasul. O procedimento e dados obtidos para cada máquina é explanado a seguir:

4.7.3.1 Consumo específico Extrusora 4

A coleta foi feita entre os dias 27/08/2015 e 28/08/2015, intervalo necessário para que fossem acompanhadas duas produções completas. As produções acompanhadas são mostradas na Tabela 24, sendo as dimensões do produto similares, e a composição do material para confeccioná-las o mesmo.

Tabela 24 - Dados dos produtos da extrusora 4 em que foram medidos os dados elétricos do dia 27/08/2015 ao dia 28/08/2015.

Produto	Peso da bobina (kg)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Duração	Produção (kg/h)
1	423	440	0,047	4h42min	90
2	472,5	455	0,047	5h20min	88,59

A partir dos dados de produção e os respectivos dados de potência ativa medidos no período em que a máquina esteve ligada para produção do produto 1 e 2 encontram-se os valores gastos com energia elétrica e os indicadores de consumo e custo específico de energia elétrica expostos na Tabela 25. Para o cálculo do custo específico considerou-se o valor de 0,3 R\$/kWh, que representa a média dos preços médios entre janeiro e junho de 2015, obtidos na Tabela 23.

Tabela 25 - Indicadores de eficiência energética para os produtos analisados considerando as diferentes bandeiras tarifárias.

Produto	1	2
Consumo específico (kWh/kg)	0,4842	0,4364
Custo específico (R\$/kg)	0,13	0,12

A partir dos dados mostrados observa-se que o consumo e custo específico de energia elétrica é 10,95% maior para o primeiro processo. Neste, a máquina foi operada com uma velocidade maior de produção (kg/h) (a velocidade é controlada pelos operadores da máquina de acordo com o produto final desejado). Operando desta forma há um ganho de apenas 1,59% na produção, porém o consumo de energia é maior. Verifica-se então que existe a possibilidade de reduzir o consumo por meio de alterações no processo produtivo.

Seria necessário avaliar para diferentes produtos (filmes plásticos), espessuras, especificações e velocidades em cada máquina e identificar aquela que resultaria em um consumo de energia inferior sem afetar o andamento da produção, este que é um trabalho vasto, que poderia resultar em um estudo específico.

4.7.3.2 Consumo específico Impressora 2

A medição para a impressora flexográfica 2 foi feita no dia 02/06/2016 ao dia 04/06/2016, foram acompanhadas duas produções apresentadas na Tabela 27. Os dados relacionados ao consumo de energia elétrica são referentes apenas à secagem da máquina, vale ressaltar que esta representa aproximadamente 58% da sua potência instalada da máquina.

Constatou-se que o custo específico para a produção 1 é 185 % maior que da produção 2, isto porque o consumo de energia durante a operação da máquina não teve uma grande variação (17 % a mais para 1), porém em 2 produziu-se 144% a mais do que em 1, então como o consumo de energia elétrica sofreu uma pequena variação e a produção foi muito menor o custo específico da produção 1 foi superior (Tabela 26).

Tabela 26 - Dados das produções e indicadores de eficiência energética acompanhadas.

Características	Produção 1	Produção 2
Largura (mm)	555	855
Espessura (mm)	0,02	0,02
Comprimento (m)	24.160	32.500
Velocidade (m/min)	100	180-252
Peso (kg)	205,15	500,18
Consumo específico (kWh/kg)	0,7210	0,2528
Custo específico (R\$/kg)	0,2080	0,0729
Temperatura secagem entre cores (°C)	60,5	67,8
Temperatura secagem final (°C)	85,77	87,8

O alto custo específico da produção 1 é explicado pela baixa velocidade de operação da máquina, que está associada à arte impressa nas embalagens. Para algumas embalagens são permitidas maiores velocidades já outras requerem uma velocidade menor.

Como a temperaturas da secagem das duas produções são quase iguais, sendo o mesmo material, não foi possível avaliar o aumento do consumo de energia elétrica devido a variação da temperatura. Na produção 2 houve um pequeno aumento na temperatura, pois foi necessário aumentar a velocidade de 180 m/min para 252 m/min aumentando em 6°C acarretando em um aumento de 615 Wh.

Logo, conclui-se que nesta situação não é possível sugerir uma redução do consumo de energia ao alterar o processo produtivo, já que ao operar a máquina com uma velocidade maior acarretaria na redução da qualidade do produto final.

4.8 CONTROLE DE DEMANDA

Conforme apresentado na Figura 31, a curva de demanda da empresa apresenta vários vales e picos ao longo do dia, o ideal é que esta curva seja o mais uniforme possível, aumentando assim o fator de carga e consequentemente reduzindo o preço médio de energia. Ao plotar curva de distribuição de frequência de demanda, reorganizar os valores registrados do maior para o menor, para o mês de abril de 2015 obteve-se o gráfico apresentado na Figura 36.

Na Figura 36 pode-se observar que o pico da curva corresponde a demanda máxima que é utilizada em poucas horas do mês. Este pico pode ser evitado por meio do uso de um controlador de demanda, utilizando como base a curva que é decorrente do processo de consumo da fábrica, e pode ser reduzida por meio de ações de eficiência.

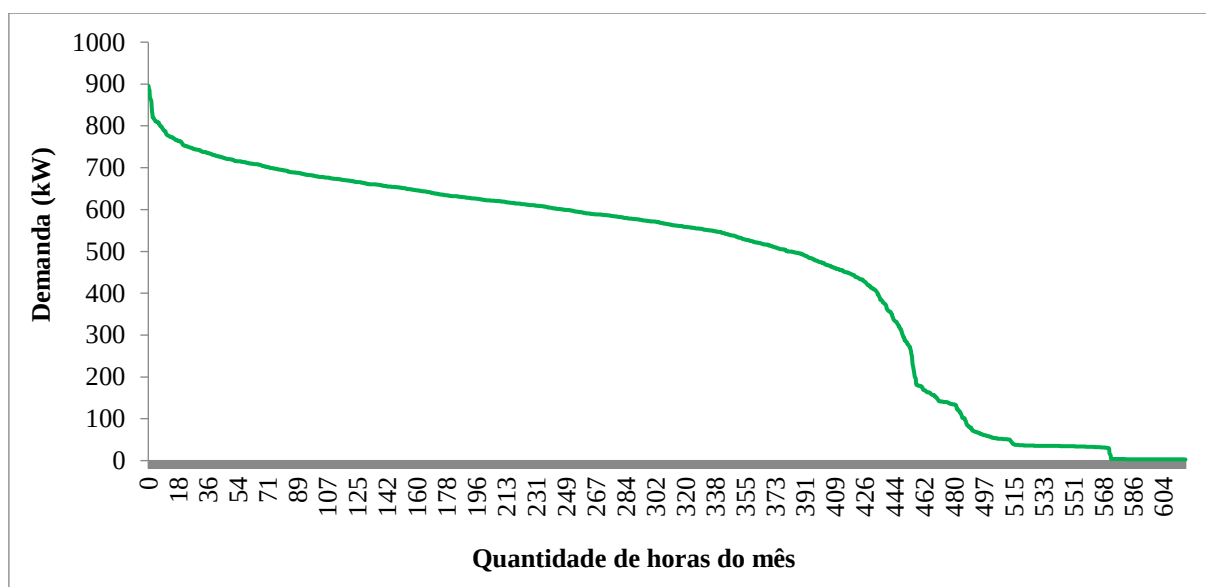


Figura 36 - Curva de distribuição de frequência das demandas de energia para o mês de abril da empresa analisada.

A parcela de demanda no período analisado de julho de 2014 a junho de 2015 representou 11,58% da fatura de energia elétrica, o que denota a importância em atuar em ações que tenham como objetivo o controle da mesma. Para o mesmo período analisado o importe devido às ultrapassagens de demanda foi de R\$ 8.693,54.

Mesmo que a unidade consumidora esteja enquadrada na melhor demanda para o seu perfil de consumo, este cálculo não aponta com 100% de exatidão a demanda a ser contratada. Isto porque o cálculo de otimização é baseado em históricos de demanda, e este perfil pode ser

modificado de um mês para o outro, ocasionando assim ultrapassagens que levam a multas, de acordo com a produção da empresa.

É importante salientar que a cobrança de ultrapassagem de demanda é feita pela diferença entre a demanda medida e contratada e não entre a demanda medida e a tolerância que é de 5%, e o valor da tarifa para esta ocorrência é o dobro da tarifa de demanda.

O consumidor contrata um valor de demanda junto à concessionária e deseja utilizar este valor ao máximo durante o período de faturamento (que em média é 30 dias), sem ultrapassar o valor limite que é o valor de contrato e mais o valor de tolerância que representa um percentual de 5%. Para tanto, deveria utilizar um dispositivo que controle a demanda automaticamente neste valor limite.

Este controlador é um equipamento eletrônico que tem como função principal manter a demanda de energia ativa de uma unidade consumidora dentro dos valores limites pré-determinados, atuando se necessário sobre alguns equipamentos (cargas) da instalação. Estes são previamente selecionados por um processo de gerenciamento de cargas, e programados no controlador para ser realizado de forma automática. Desta forma, aumenta-se o fator de carga e reduz-se o preço médio da energia.

Utilizando-se da curva de distribuição de frequência para três faturas, entre março e abril (Figura 37, Figura 38 e Figura 39), nota-se uma frequência baixa de ocorrências entre as demanda de 800 a 900 kW, que poderia ser evitado com o uso de um controlador.

Nota-se que dentre as 2880 amostras recolhidas pelo medidor em um mês, é necessário que apenas uma delas esteja maior que a demanda contratada e acima da tolerância permitida, para que se pague o valor de demanda de ultrapassagem.

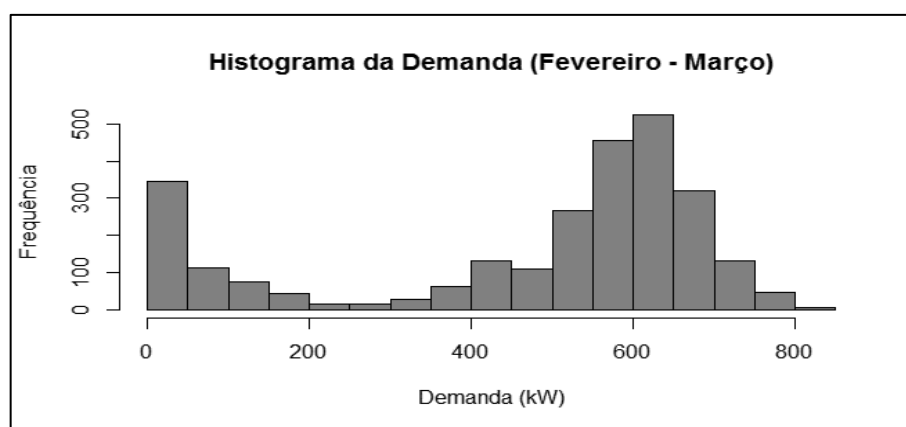


Figura 37 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de março.

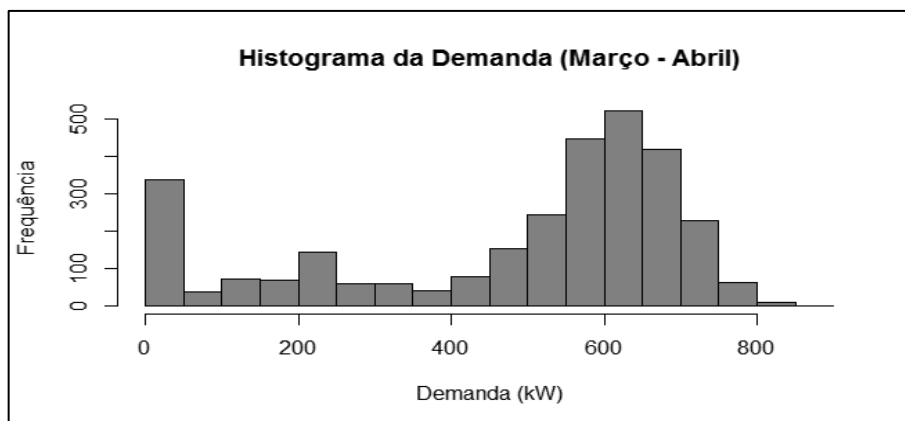


Figura 38 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de abril.

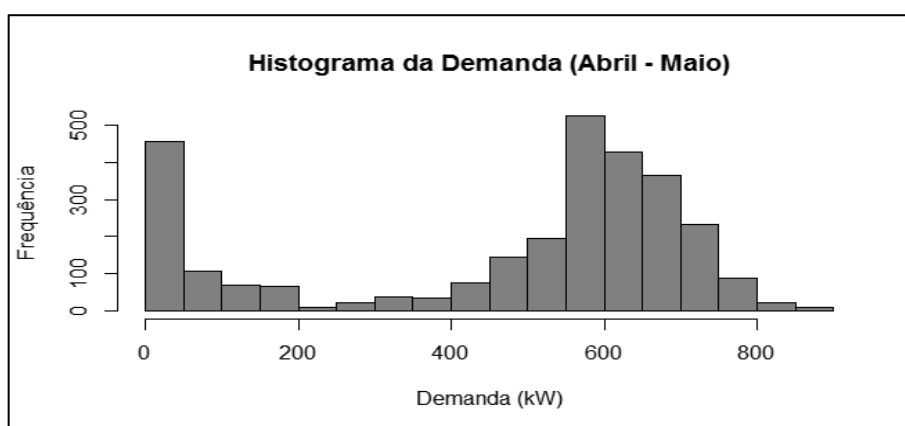


Figura 39 - Distribuição de frequência da demanda para o faturamento do mês de maio.

Visando compreender melhor os dados da Figura 36, o gráfico da Figura 40 foi traçado, de forma que os dados pudessem ser melhor observados. Desta forma, destacou-se as 20 horas com maior demanda.

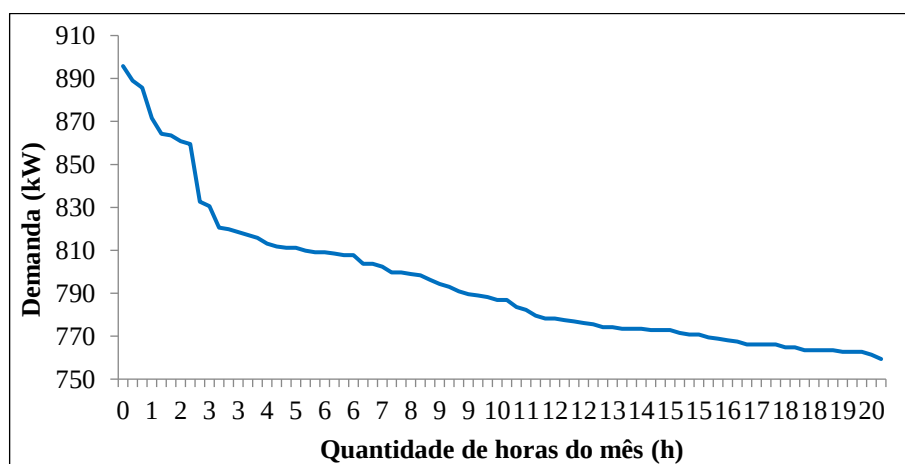


Figura 40 - Curva de distribuição de frequência das demandas de energia para o mês de abril da empresa analisada.

Conclui-se ao observar a Figura 40 que, em 20 horas do mês (2,7% do total) foi utilizada a demanda de 760 a 895 kW, portanto, ao fazer o uso de controlador de demanda evita-se estes picos de demanda.

No mês em análise ocorreu ultrapassagem de demanda e por consequência pagamento de multa, por conta de três registros acima da tolerância de demanda permitida.

A empresa pode optar em manter o funcionamento normal dos equipamentos ou controlar a demanda, desligando cargas ou gerenciando processos. Esta avaliação está relacionada aos benefícios econômicos da redução do contrato de demanda e a cessação das multas ou os impactos que ocorrem no processo produtivo.

A demanda contratada da empresa atualmente é de 810 kW, foram feitas simulações para que a demanda fosse controlada em 810, 820, 830, 840, 845, 850 e 860 kW. Para cada simulação obteve-se o tempo total e a carga em kW que ficariam indisponíveis para manter a demanda no valor pré-ajustado, estes valores são mostrados na Tabela 28. Observou-se também o gasto mensal e anual com a parcela de demanda e a economia obtida caso a demanda fosse controlada nos valores simulados.

Para o cálculo do tempo de retorno em anos (Tabela 27) foi considerado um investimento no sistema de controle de demanda de R\$ 11.136,83.

Tabela 27 - Simulação do valor de demanda a ser controlada.

Demanda (kW)	Demanda mensal (R\$)	Demanda anual (R\$)	Economia (R\$/ano)	Indisponibilidade da carga (horas)	Carga indisponível (kW)	Tempo de retorno (anos)
810	10.995,43	131.945,11	11.906,69	5,00	85,78	0,94
820	11.131,17	133.574,06	10.277,74	2,75	75,78	1,08
830	11.266,92	135.203,02	8.648,79	2,50	65,78	1,29
840	11.402,66	136.831,97	7.019,84	2,00	55,78	1,59
845	11.470,54	137.646,44	6.205,36	2,13	50,78	1,79
850	11.538,41	138.460,92	5.390,88	1,75	45,78	2,07
860	11.674,16	140.089,87	3.761,93	1,25	35,78	2,96

Nota-se que, quanto menor a demanda a ser controlada maior será a economia e também menor será o tempo de retorno, porém mais cargas deverão ser desligadas.

A escolha da demanda a ser pré-definida para o desligamento foi baseada na demanda das cargas passíveis de serem retiradas (Tabela 28). Nota-se que na empresa há seis extrusoras apresentadas neste trabalho e que possuem as cargas mais representativas de todo o processo.

Os valores de demanda mostrados na Tabela 27 correspondem apenas à potência de aquecimento, que envolvem as resistências elétricas dos canhões e matrizes de extrusão.

Tabela 28 - Resumo das medições realizadas com o aparelho analisador de energia para algumas máquinas da empresa.

Medida estatística	Coextrusora 06	Extrusora 04	Recuperadora	Insufladores/Exaustores			Total
				Corte e solda	Extrusão	Impressão	
Média (kW)	17,92	6,47	25,82	22,57	11,74	7,05	91,57
Desvio padrão (kW)	11,94	2,1	16,96	2,57	0,134	0,014	33,718
Máximo (kW)	63,98	25,73	53,88	29,53	11,95	7,07	192,14
Mínimo (kW)	0	3,6	3,72	19,04	10,41	7	43,77
Mediana (kW)	16,94	6,39	17,77	22,08	11,79	7,05	82,02

As máquinas extrusoras possuem uma potência alta para aquecimento, devido a sua forma construtiva, pois tanto o canhão quanto a matriz armazenam energia térmica, podendo assim ter as resistências desligadas por alguns minutos sem afetar o processo produtivo. Logo estas são cargas que poderiam ser parcialmente desligadas. Já os motores dos insufladores e da recuperadora são cargas que poderiam ser desligadas completamente já que não afetam o processo produtivo.

Portanto a Tabela 28 traz uma sugestão de cargas que poderiam ser desligadas. Nota-se que ao avaliar o valor médio haveria disponível um total de 91,57 kW, com um desvio padrão total de 33,71 kW, a ser retirado caso houvesse tendência de ultrapassagem de demanda.

Na Figura 41 e Figura 42 são mostrados os histogramas dos dados medidos, que foram obtidos por meio do aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul, com tempo de integração foi de 15 minutos.

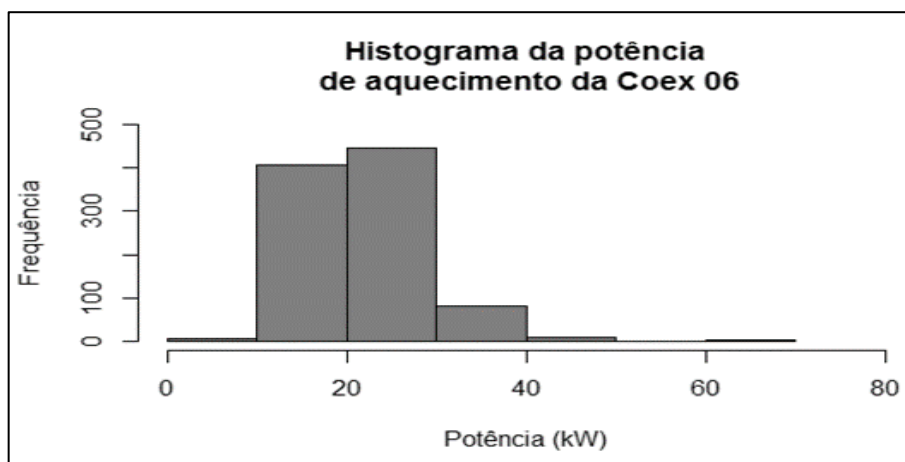


Figura 41 - Distribuição de frequência de potência da Extrusora 06.

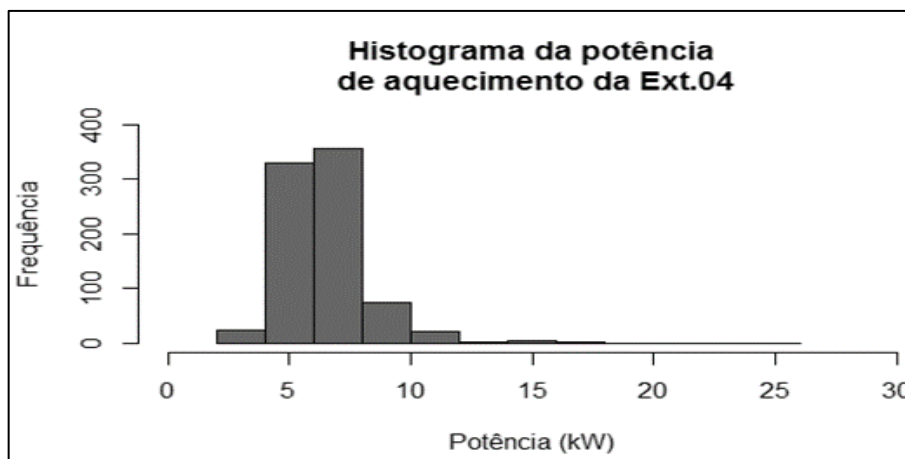


Figura 42 - Distribuição de frequência de potência da Extrusora 04.

Baseado nos histogramas apresentados para as cargas que poderiam ser controladas, pode-se concluir que: a maior frequência de demanda das resistências da Extrusora 06 (Coex 6) fica entre 20 kW e 30 kW; para a Extrusora 04 fica entre 6 kW e 8 kW; para a recuperadora houve uma maior frequência de variação de demanda, o que é verificado pelo alto desvio padrão dos dados, sendo que a maior frequência se dá entre 5 kW e 10 kW e entre 40 kW e 45 kW; os insufladores do corte solda ficam entre 19 kW e 20 kW, já, os insufladores do setor de extrusão entre 10 kW e 12 kW e os de impressão entre 7 kW e 7,1 kW. Ao considerar os valores mínimos dos intervalos mencionados verifica-se que há uma disponibilidade total de 67 kW.

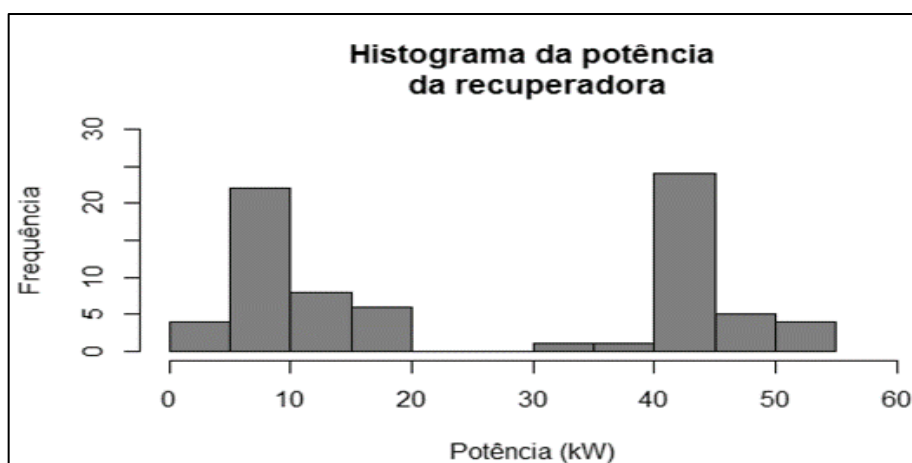


Figura 43 - Distribuição de frequência de potência da Recuperadora.

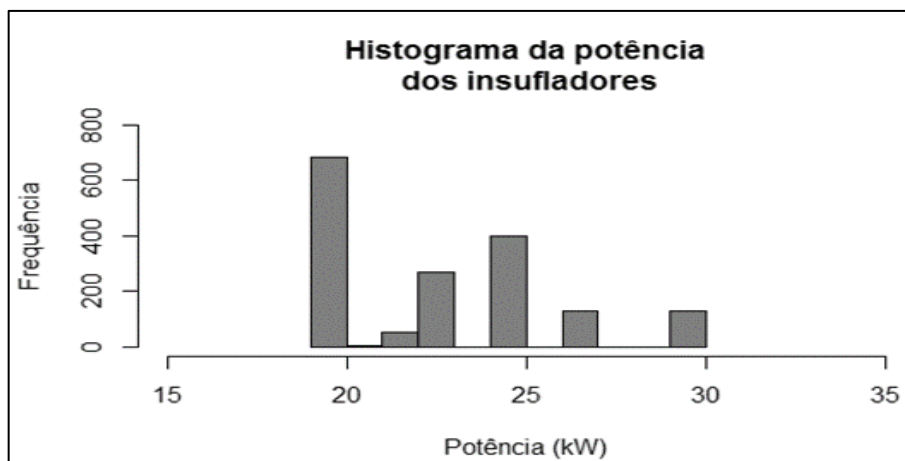


Figura 44 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de corte e solda.

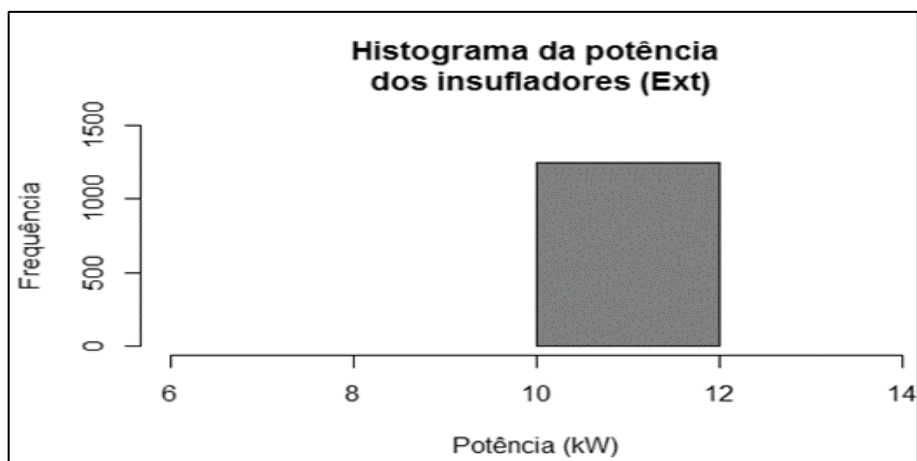


Figura 45 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de extrusão.

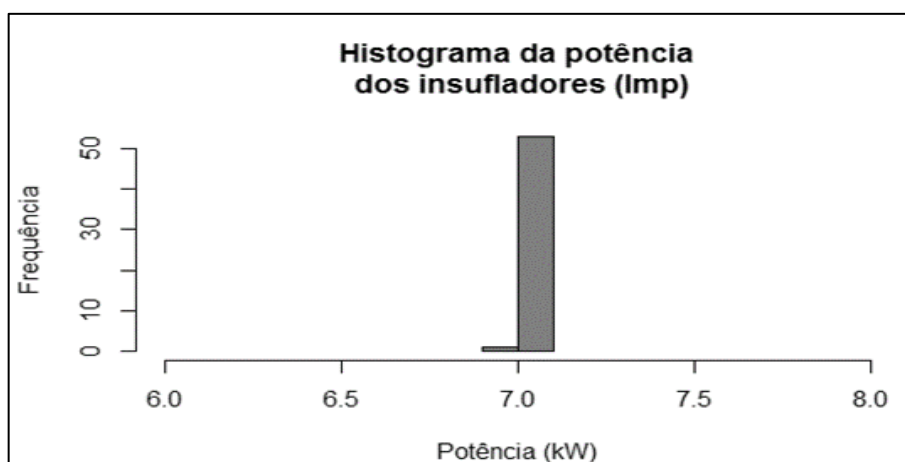


Figura 46 - Distribuição de frequência de potência dos insufladores do setor de impressão.

Baseado nos dados da Tabela 28 em que a soma da demanda média das cargas não essenciais (recuperadora e insufladores) representa um total de 67,18 kW que poderiam ser desligadas, e verificando na Tabela 27 que ao controlar a demanda em 830 kW seria necessário retirar 65 kW, este estudo propõe que este seja o valor pré-ajustado para o controle. Além disso, este valor é inferior aos valores mínimos com maior frequência de demanda verificados nos histogramas.

A Figura 47 mostra a demanda que deveria ficar indisponível segundo o histórico analisado (julho de 2014 a junho de 2015). Nota-se que em alguns meses não seria necessário retirar nenhuma parcela da carga, já em outros sim como é o caso de dezembro/14, janeiro/15, março/15, abril/15, maio/15 e junho/15 (Figura 47).

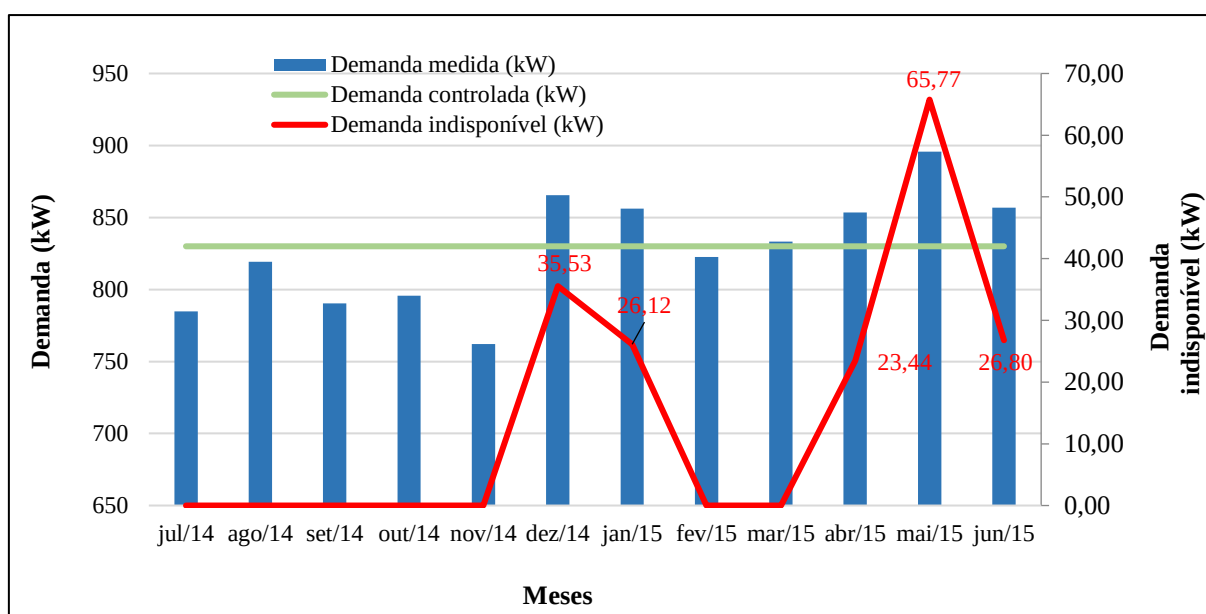


Figura 47 - Indisponibilidade da carga para a demanda de 830 kW.

Ao analisar o mês em que uma demanda maior deveria ser desligada (abril), nota-se que ficariam indisponíveis 65 kW em apenas um período de integração (15 minutos) e por 120 minutos aproximadamente 30 kW (Figura 48). Portanto, conclui-se que a demanda que poderia ser controlada é de 830 kW. Desta forma, a empresa irá pagar apenas pela demanda medida que é a de 830 kW, o que irá mudar de um mês para o outro será o tempo em que a carga terá que ficar indisponível.

Observa-se com o controle em 830 kW o tempo de retorno (*payback* simples) seria de um ano e três meses e a economia anual de R\$ 8.648,79.

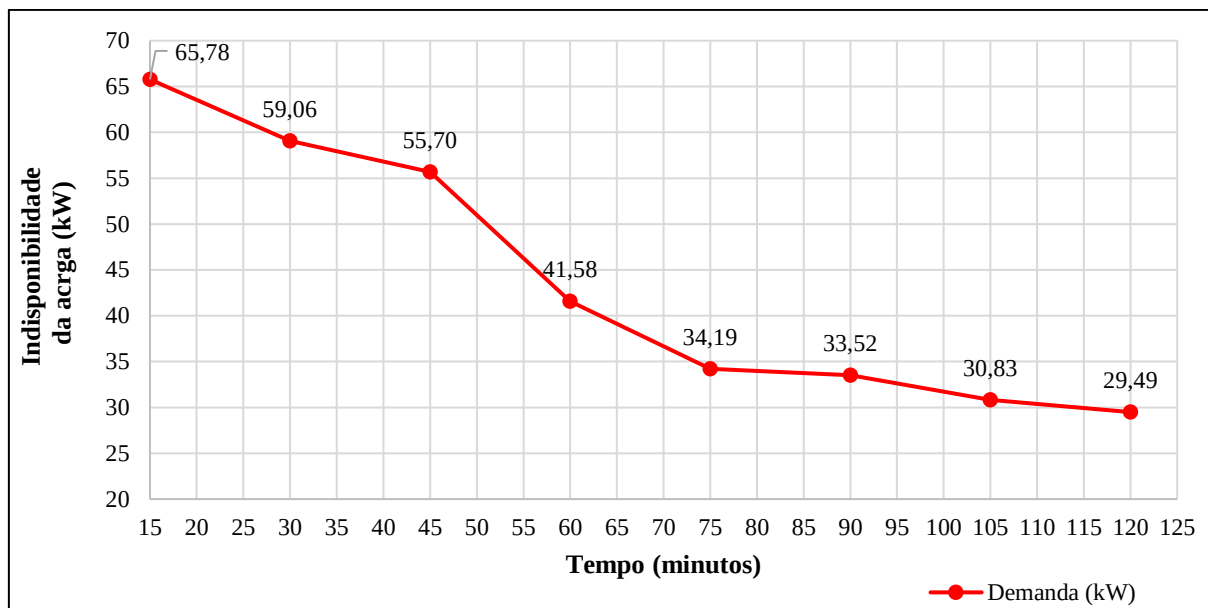


Figura 48 - Indisponibilidade da carga para a demanda de 830 kW referente ao mês de abril/2015.

Avaliando as instalações da empresa, observou-se que uma possível fonte de economia de energia é o sistema de ar comprimido. Neste sentido, no próximo capítulo é apresentado um estudo realizado para calcular os desperdícios neste sistema.

4.9 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

Para a realização da verificação do potencial de economia referente ao sistema de compressão de ar, foi feito um levantamento *in loco* das condições das instalações do sistema de ar comprimido. Objetivando a quantificação da vazão absorvida pelos vazamentos foi seguida a metodologia proposta por Rocha e Monteiro (2004), para sua identificação dos foi feito o uso dos procedimentos elaborados por YANG (2009). Por fim, o consumo de energia elétrica foi mensurado, visando a determinação do potencial de conservação de energia deste sistema.

Na empresa existem 3 compressores de ar, dois deles utilizados para pressurizar as linhas de ar comprimido e um terceiro utilizado para atividades de apoio, como calibração de pneus. O estudo do sistema de ar comprimido foi restrito aos compressores que pressurizam as linhas que atendem a produção, listados na Tabela 29.

Tabela 29 - Compressores de ar que alimentam o setor produtivo.

Máquina	Potência [cv]	Potência [kW]
Compressor 01	50	40,89
Compressor 02	50	40,89

4.9.1 Vazão de ar correspondente aos vazamentos

De acordo com Rocha e Monteiro (2004) para a quantificação dos vazamentos de ar comprimido, deve-se realizar as medições com todos os equipamentos que utilizam ar comprimido fora de serviço, de forma que sejam evitados falsos resultados. Por esta razão a medição foi realizada em um dia que não havia produção na indústria. O procedimento utilizado foi o de medição do tempo de carga.

Durante o teste, os vazamentos representam os consumidores. Desta forma, o volume de ar deslocado ao longo do tempo de compressão é aproximadamente equivalente ao ar que atravessa os orifícios de vazamentos durante a somatória dos tempos de compressão e alívio do compressor.

A partir dos dados obtidos (Tabela 30), calcula-se o Q_v , que é o volume de vazamentos de ar comprimido (Equação 19).

Tabela 30 - Medições referentes ao tempo de alívio do compressor.

Medida	Tempo (s)
Medida 1	6,35
Medida 2	5,88
Medida 3	6,01
Medida 4	6,94
Medida 5	5,98
Total	31,16

Equação 19

$$Q_v = Q_c \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{c_i}}{t_t}$$

Onde:

Q_v - Vazamentos de ar comprimido (m³/minutos);

Q_c - Capacidade nominal do compressor utilizado no teste (m³/minutos);

t_{c_i} - Tempo do compressor em carga (compressão) registrado pelo segundo cronômetro (minutos);

t_t - Tempo total (alívio e compressão) registrado no primeiro cronômetro (minutos).

O tempo total foi de 1 minuto e 23 segundos, sendo a vazão do compressor para a pressão de 7,5 bar de 6.354 l/min. Então a vazão de ar necessária apenas para suprir os vazamentos é de 2.308,87 l/min, que corresponde a 36,34% da vazão do compressor.

4.9.2 Detecção de vazamentos

A metodologia utilizada para a detecção dos vazamentos de ar comprimido foi a mesma utilizada por YANG (2009). Que consiste em procurar vazamentos por meio dos ruídos emitidos pelos mesmos, sendo que quanto maior a área do vazamento maior é o ruído.

Foram inspecionadas ao todo 30 máquinas da indústria, e foram encontrados 66 pontos de vazamentos em 28 máquinas. Abaixo na Figura 49 e Figura 50 são mostrados alguns dos pontos que foram encontrados. Cada ponto foi marcado com uma etiqueta para facilitar a posterior correção.



Figura 49 - Ponto de vazamento 01.



Figura 50 - Ponto de vazamento 50.

Os vazamentos encontrados foram em sua maioria nas conexões, válvulas, pistões, reguladores de pressão. Alguns são facilmente resolvidos através do reaperto das conexões, troca de mangueiras e de conexões, já outros é necessário que se faça uso de uma mão de obra mais especializada. Como na empresa em que o estudo foi realizado há profissionais capacitados o serviço poderá ser realizado internamente.

De maneira geral, o desperdício de energia pode estar associado ao mau uso do ar comprimido, que varia desde a aplicação para limpeza de roupas, equipamentos empoeirados e no escape do ar em momentos em que a máquina não está em operação. Para o primeiro caso, deve-se orientar os colaboradores para evitarem o desperdício do ar comprimido em atividades não ligadas ao processo produtivo. Já para o uso do ar comprimido em momentos fora de produção é necessário que sejam instaladas válvulas que interrompam o consumo de ar com a parada da produção de forma automática, com o uso de uma válvula solenoide por exemplo, não dependendo então da ação de um colaborador para a interrupção do circuito.

4.9.3 Potencial de economia de energia elétrica

Para avaliar de forma quantitativa as perdas de energia elétrica do sistema de compressão de ar devido à existência de vazamentos foi realizado o monitoramento do consumo de energia elétrica. Para tanto, foi utilizando o aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul com o aparelho conectado no quadro de força que alimenta os compressores (Figura 51).

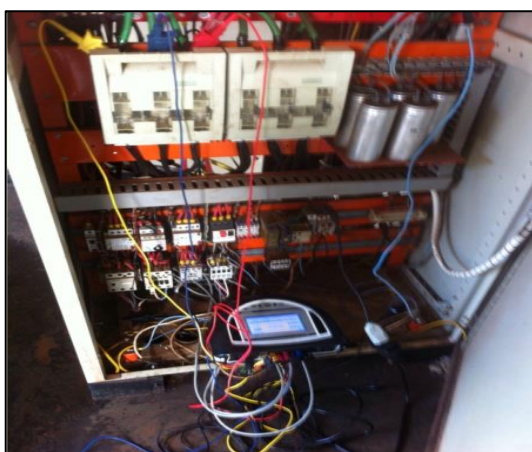


Figura 51 - Aparelho analisador de energia RE 7000 da Embrasul instalado no quadro de força dos compressores.

Por meio da análise dos resultados deste monitoramento foi possível identificar a curva de carga destes equipamentos e também obter o percentual de desperdício de energia devido à existência de vazamentos. Além de ser possível avaliar a demanda necessária para atender aos vazamentos de ar comprimido.

A medição foi iniciada em um dia em que não havia produção e se prolongou por sete dias de medições (domingo a sábado), inclusive em dias com produção. Os dados mais relevantes foram obtidos no domingo já que estes mostram efetivamente qual a demanda de energia solicitada pelos vazamentos de ar comprimido.

Para o início da medição foram abertas todas as válvulas dos pontos de uso final de ar comprimido, de forma que o compressor atendesse a demanda dos vazamentos. Para este primeiro momento apenas o compressor de 50 cv que opera regime intermitente foi acionado. Para evitar desperdício de energia, esta configuração foi mantida por pouco mais de uma hora.

Os dados iniciais referentes aos vazamentos estão expostos na Figura 52. Observa-se que a demanda (kW) necessária para atender os vazamentos é em média 32,6 kW, representando 81,75% da potência elétrica nominal do compressor.

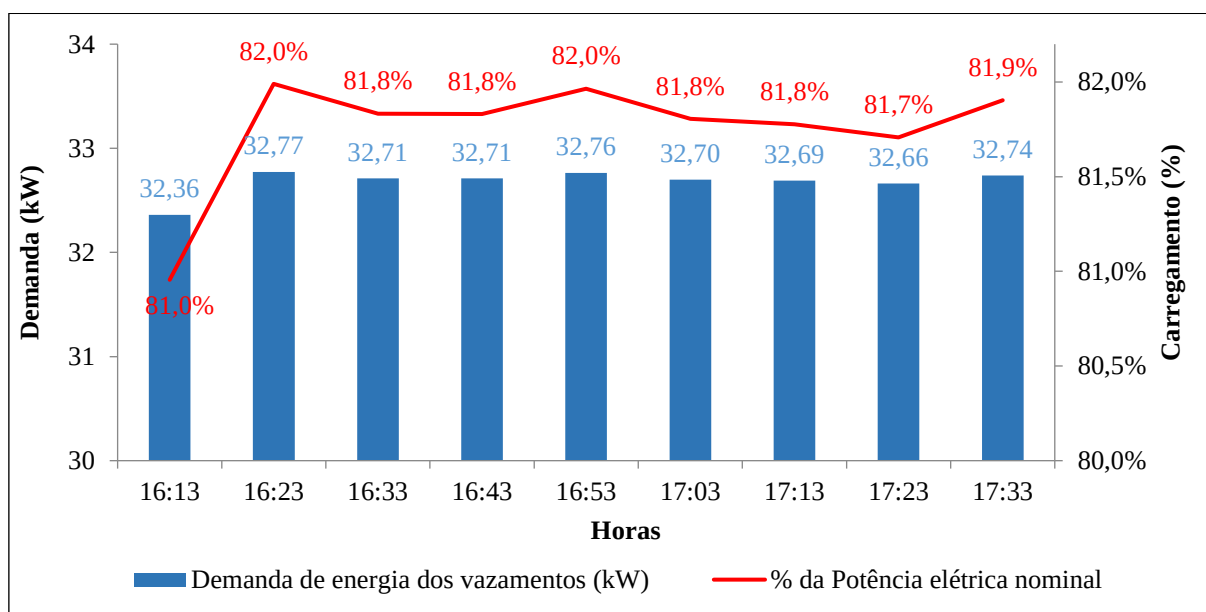


Figura 52 - Demanda de energia elétrica proveniente dos vazamentos e potência nominal do compressor.

Para calcular o consumo de energia proveniente dos vazamentos de ar comprimido considerou-se que a fábrica opera 480 horas/mês, resultando em um consumo mensal de 15.685,73 kWh/mês, em um ano 188.228,76 kWh.

O cálculo dos gastos referentes ao sistema de ar comprimido foi feito a partir do preço médio de janeiro a junho de 2015, este que é de R\$ 0,459/kWh. Portanto, o valor equivalente do consumo de energia é de R\$ 7.199,75/mês, ou R\$ 86.397,00/ano, representando 8,19% do faturamento anual de energia elétrica da empresa. A Figura 53 mostra ainda a variação da potência dos dois compressores ao longo do dia para três dias da semana. A demanda máxima requerida foi de 67,24 kW, ou seja, a demanda para atender os vazamentos é de 48,59% da demanda máxima registrada. A Figura 53 apresenta a curva de potência proveniente dos vazamentos e de operação normal dos compressores.

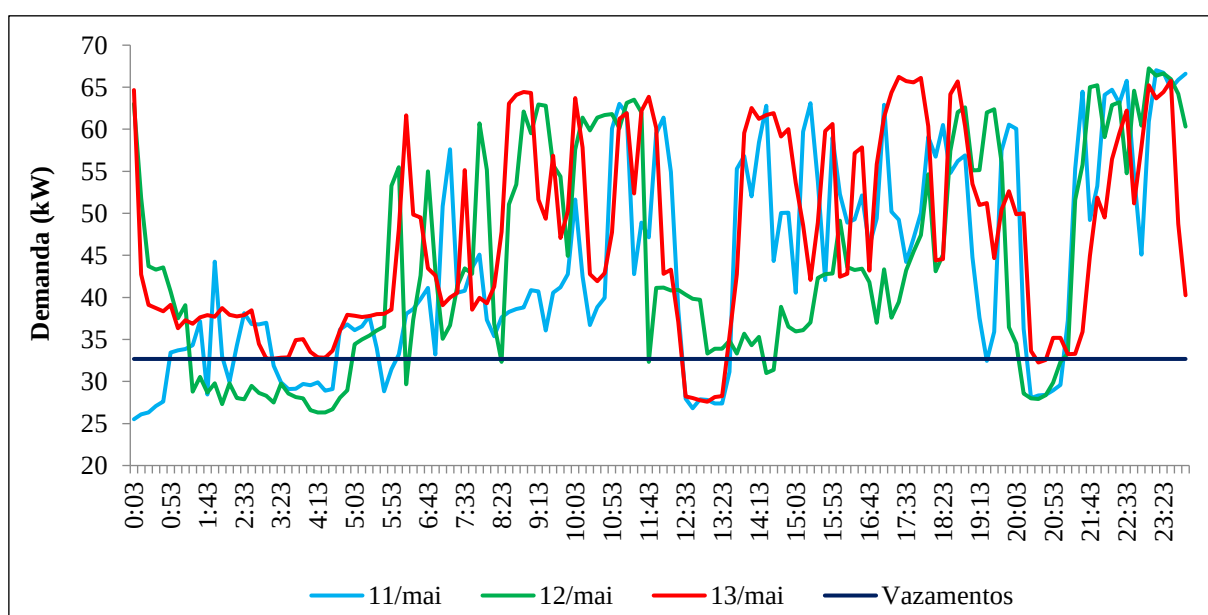


Figura 53 - Curvas de demanda do sistema de ar comprimido durante três dias da semana e curva de demanda proveniente dos vazamentos.

Como já mencionado, para a correção dos problemas apontados, seria necessário apenas o reaperto de conexões em alguns pontos e em outros a troca de conexões, válvulas, pistões e reguladores de pressão, a manutenção poderia ser realizada pelos técnicos da empresa, não acarretando em custos adicionais com mão de obra. Salienta-se que o investimento necessário seria de apenas 7% da economia obtida mensalmente.

Logo, observa-se que a auditoria de um sistema de ar comprimido permite evidenciar os custos reais deste sistema e identificar oportunidades ou soluções técnicas simples que contribuam para o aumento da eficiência energética em uma planta industrial. As oportunidades para a redução do consumo de energia elétrica não estão limitadas à correção de pontos de vazamentos, mas há diversas outras possibilidades, tendo este trabalho se atentado apenas a

uma das alternativas, e mesmo assim obtido resultados quantitativos significativos. Observa-se ainda que o potencial de economia é alto frente ao baixo investimento que deverá ser realizado.

4.10 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Analisando o sistema de iluminação artificial do setor de produção foi verificada a presença de 37 lâmpadas de vapor metálico de 400W, totalizando 14.800W de potência. Segundo dados do fabricante, esta lâmpada emite um fluxo luminoso de 32.500 lúmens.

As lâmpadas estão inseridas em luminárias industriais de alumínio repuxado com lente transparente, fixadas ao teto, como pode ser visualizado na Figura 54 que apresenta uma visão geral do sistema de iluminação.

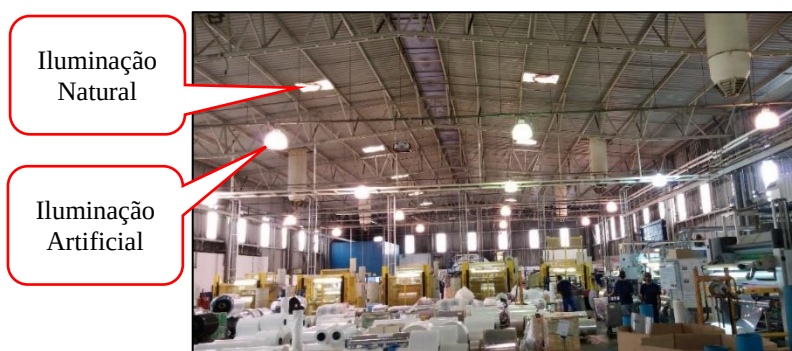


Figura 54 - Visão geral do sistema de iluminação da indústria.

Nos postos de trabalho, em pontos específicos de algumas máquinas, existem lâmpadas fluorescentes dedicadas. Estas lâmpadas possuem formato tubular e potência de 32W. É possível visualizar estas lâmpadas em destaque na Figura 55.



Figura 55 - Lâmpadas fluorescentes.

Uma solução mais eficiente para as lâmpadas de vapor metálico são as lâmpadas LED para iluminação industrial, com um ganho de 50% no consumo de energia. Verifica-se que uma lâmpada LED de 200 W possui fluxo luminoso similar e substitui uma lâmpada de vapor metálico de 400 W.

O consumo estimado mensal para o sistema de iluminação geral da fábrica é de 5.683,2 kWh/mês. Considerando 0,45 R\$/kWh, o faturamento mensal referente a iluminação do chão de fábrica é de R\$ 2.557,44/mês. Ao calcular a substituição por LED haveria uma economia de energia de aproximadamente R\$ 1.278,72/mês.

As lâmpadas de vapor metálico tem vida útil de 10.000h, cinco vezes menor que a da lâmpada LED, que é de aproximadamente 50.000h. Neste sentido, para o cálculo da viabilidade de substituição, levou-se em consideração o custo da substituição das lâmpadas de vapor metálico considerando o tempo de vida útil de uma lâmpada LED, conforme Tabela 31.

Tabela 31 - Comparação entre lâmpadas de vapor metálico e LED

	Vapor metálico 400W	LED 200W
Número de Lâmpadas em 50.000h	5	1
Custo da lâmpada (unidade/total) [R\$]	125,00 ¹² / 625,00	693,00 / 693,00

O investimento necessário para a aquisição das 37 lâmpadas LED é de R\$ 25.650,00 e o custo de manutenção para as lâmpadas instaladas na empresa (vapor metálico) no período de 50.000h é de 23.125,00 (dividido em cinco ciclos de 10.000h). Nota-se que a diferença no investimento total entre os dois tipos de lâmpada é de R\$2.525,00 e o potencial de economia de energia em 50.000h (por volta de 16 anos) é de aproximadamente R\$245.514,24, ou 15.344,64 por ano.

Com o resultado, observa-se que a substituição é vantajosa para a empresa, uma vez que a redução do gasto com energia ao longo do período compensa o investimento inicial com a substituição. Outro fator resultante da substituição é a diminuição de intervenções de manutenção corretiva para a troca de lâmpadas e reator, uma vez que o tempo de vida útil da lâmpada LED é maior e não utilizada reator.

Para a iluminação dos postos de trabalho foi feita uma análise similar. Por meio do levantamento em campo, verificou-se que há na empresa um total de 50 lâmpadas fluorescentes de 32W. Neste sentido, foi realizada a análise de viabilidade para verificar a economia obtida

¹² Custo da lâmpada somado ao custo do reator.

ao trocar estas lâmpadas fluorescentes por lâmpadas tubulares LED. Na Tabela 32 é possível observar a comparação entre os dois tipos de lâmpadas.

Tabela 32 - Comparação entre lâmpadas tubulares fluorescentes e LED

Especificação	Fluorescente T8 32 W	LED 18 W
Potência (W)	32	20
Unidades	1	1
Eficiência luminosa (lm/W)	66	100
IRC (%)	80	80
Fluxo luminoso (lm)	2100	2000
Tempo de vida (horas)	12.000	20.000
Temperatura de cor (K)	3000	3000
Reator	Eletrônico 2x40/32	Não utiliza

Fonte: OSRAM (2016)

Observa-se que os dois tipos de lâmpadas possuem equivalência similar em fluxo luminoso. Portanto, com a substituição haveria redução no consumo de energia já que a potência utilizada é menor na lâmpada LED.

O consumo estimado mensal para o sistema de iluminação dos postos de trabalho é de 614,40 kWh/mês. Considerando 0,45 R\$/kWh, o faturamento mensal referente a iluminação do chão de fábrica é de R\$ 276,48/mês, ao calcular a substituição por LED haveria uma economia de aproximadamente R\$ 103,68/mês.

O investimento para as lâmpadas fluorescentes seria de R\$ 250,00 e para as LED R\$ 1.500,00. Considerando que a iluminação local é utilizada durante 480 horas/mês e a vida útil de uma lâmpada LED é 3,4 anos, obtém-se uma economia de energia acumulada de R\$ 4.230,14 ao final do período, ou R\$ 1.244,00/mês, viabilizando o investimento com a substituição.

Ao final da análise, obteve-se a economia total anual com o sistema de iluminação, que é de R\$ 16.588,00. Somado a isso, importante destacar que as lâmpadas LED não utilizam reator eletrônico, diminuindo o número de itens passíveis de manutenção, o que representa vantagem sobre as lâmpadas fluorescentes tubulares e uma possível redução de custos a longo prazo.

Para a substituição das lâmpadas, a empresa pode fazer o investimento de uma única vez, ou diluir este investimento ao longo do tempo, apenas substituindo as lâmpadas fluorescentes por LED ao passo que as primeiras forem falhando.

Outra sugestão é rebaixar as luminárias de iluminação do chão de fábrica, possibilitando melhor aproveitamento do fluxo luminoso. Também seria recomendável expandir a captação de luz natural, através do aumento do número de aberturas no teto para a passagem de luz solar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho conclui-se que a melhor configuração de contratação e consumo de energia elétrica na indústria analisada é a tarifa verde, opção já adotada pela indústria, com economia mensal de R\$ 7.046,00 de energia em relação a tarifa azul, aliado ao uso do sistema de geração própria (grupo gerador) no horário de ponta, com economia anual de R\$ 84.553,00.

Observa-se também vantagem na adequação do contrato de demanda, que atualmente é de 810kW para 830kW. Esta mudança geraria uma economia anual de R\$ 3.146,00.

Na análise dos indicadores de eficiência energética, observa-se que é possível otimizar o fator de carga deslocando cargas não essenciais à produção para horários em que a demanda do sistema elétrico da indústria é menor. Como exemplo, foi avaliado a possibilidade de deslocamento de 74,37 kW de carga, referente aos insufladores e a recuperadora. Neste sentido foi realizado um estudo de viabilidade para a implantação de um controlador automático de carga, que resultaria em uma economia de R\$ 8.648,00 no ano em análise, com *payback* em um ano e três meses.

Avaliando o indicador de preço médio nos últimos meses analisados, observou-se que mesmo com a redução do consumo em março e abril de 2015 o preço médio se elevou, por conta do aumento tarifário. Este aumento é um alerta que mostra que é necessário adotar medidas para a implantação de ações que visem a efficientização do consumo, uma vez que, a busca por menores valores para este indicador representa para a empresa, além de um menor custo da energia utilizada, um melhor aproveitamento dos equipamentos da indústria, com reflexo direto no valor final do produto.

Os indicadores de preço médio e fator de carga são inversamente proporcionais, portanto, a otimização do fator de carga tem reflexo positivo no preço médio. Neste sentido, a empresa pode investir em ações para a distribuição homogênea das cargas da indústria ao longo do tempo, monitorando estes dois indicadores para controlar a evolução da efficientização.

Considerando que a energia elétrica é um dos principais insumos industriais, e que seu custo impacta diretamente no preço final dos produtos produzidos, obter um preço médio menor é uma forma de melhorar a competitividade da empresa. Desta forma, deve-se sempre buscar fontes mais baratas para o fornecimento de energia. A indústria utiliza grupo gerador na ponta, que como demonstrado é mais vantajoso para a empresa. No entanto, a empresa pode avaliar a viabilidade de substituição do consumo cativo de energia, proveniente da concessionária, pelo

consumo no mercado livre de energia, considerado atualmente uma tendência mundial [FIESP, 2016].

Avaliando o indicador de custo específico, em 2015 a empresa gastou 10,14% a mais em energia elétrica para produzir a mesma quantidade de produto que em 2014. No entanto, o indicador de consumo específico mostra que não há grande variação do consumo de energia para a indústria produzir mais, como exemplo, observa-se que no mês de março a produção foi 46,17% maior que a de fevereiro, porém o consumo específico foi 22% menor. O mesmo vale quando a indústria produz menos, neste sentido, deve-se buscar sempre otimizar a produção, buscando produzir mais e com maior uniformidade produtiva para que a indústria seja energeticamente mais eficiente. Para a evolução destes indicadores, deve-se analisar os dados apresentados, estudar as particularidades no funcionamento da indústria que resultam em maiores ou menores custos específicos e preços médios de energia elétrica. Buscando desta forma, alternativas para melhorar a gestão energética através do monitoramento da evolução dos indicadores.

Com foco na efficientização dos sistemas industriais, foram analisados os sistemas de ar comprimido e de iluminação. No sistema de ar comprimido a demanda de energia para compensar os vazamentos é de 67,24kW, 48% da demanda máxima registrada para os compressores de ar. Neste sentido, ações simples como o aperto de conexões e a troca de válvulas e de reguladores de pressão resultam em uma economia calculada de R\$ 7.199,75 por mês, ou seja R\$ 86.397,00 ao ano. Estimou-se que o investimento necessário para os reparos seria de pouco mais de R\$ 500,00, o que equivale a 7% da economia obtida em um mês no consumo de energia elétrica.

Analisando o sistema de iluminação, observou-se que as lâmpadas instaladas na indústria podem ser substituídas por lâmpadas mais eficientes, neste sentido foi calculada a substituição das lâmpadas industrial de vapor metálico por lâmpadas LED equivalentes, resultando em uma economia mensal em energia de R\$ 1.753,82. Para a iluminação dos postos de trabalho, realizada por lâmpadas tubulares, foi realizada uma análise similar, onde foi calculada a substituição das 50 lâmpadas fluorescentes existentes por lâmpadas LED equivalentes. Com a substituição é possível obter uma economia mensal em energia elétrica de R\$ 103,67. Neste sentido, a economia total no sistema de iluminação seria de R\$16.588,00 ao ano. Outro ganho na substituição das lâmpadas convencionais por LED é a diminuição do número de intervenções de manutenção, uma vez que a vida útil das lâmpadas LED é maior e não necessitam de reator eletrônico para o funcionamento.

A Tabela 33 apresenta a consolidação da economia anual financeira identificada neste trabalho, considerando o total faturado para a empresa entre julho de 2014 e junho de 2015 (R\$ 1.054.376,18).

Tabela 33 - Economia financeira identificada e percentual em relação ao total faturado entre julho de 2014 e junho de 2015.

Oportunidade de otimização	Economia	% em relação ao total faturado
Consumo da concessionária na Ponta	R\$ 16.726,00	1,58%
Adequação do contrato de demanda	R\$ 3.146,00	0,30%
Uso de controlador automático de demanda	R\$ 8.648,00	0,82%
Correção de vazamentos de ar comprimido	R\$ 86.397,00	8,19%
Eficientização do sistema de iluminação	R\$ 16.588,00	1,57%
Total	R\$ 122.865,00	12,46%

6 CONCLUSÃO

Objetivo do trabalho foi alcançado, pois contribuiu na identificação de oportunidades de economia de energia elétrica na empresa, que se implantados, podem reduzir os custos de produção e impactar positivamente na competitividade da indústria.

No entanto, recomenda-se que em trabalhos futuros sejam desenvolvidos outros levantamentos e avaliações, no sentido de relacionar os indicadores propostos aos setores específicos da empresa, propiciando, assim, uma análise mais detalhada do impacto de cada processo no custo específico e preço médio da energia da indústria.

Espera-se que os resultados obtidos neste trabalho forneçam os subsídios necessários para a implantação de medidas para a efficientização energética na indústria, e que este modelo possa ser replicado em demais empresas do mesmo segmento industrial.

Por fim, recomenda-se que a empresa monitore os indicadores de eficiência energética e ajuste a suas atividades com ações de engenharia produtiva, buscando a efficientização do consumo de energia e a otimização de seus processos produtivos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELAZIZ, E. A., SAIDUR, R., & MEKHILEF, S. **A review on energy saving strategies in industrial sector. Renewable and sustainable energy reviews.** 15, 150-168. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

ABRE, **Estudo macroeconômico da embalagem ABRE/ FGV.** 2015. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/>> Acesso em: 28 out. 2015.

ABNT, **NBR 7094 - Máquinas elétricas girantes - Motores de indução – Especificação.** 2003. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=53910>> Acesso em: 10 nov. 2015.

ABNT, **NBR 17094 - Máquinas elétricas girantes - Motores de indução.** 2008. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=28598>> Acesso em: 10 nov. 2015.

ABNT, **NBR ISO/CIE 8995-1- Iluminação de ambientes de trabalho.** 2013. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196479>> Acesso em: 8 nov. 2015.

ABIEF, **Mercado flexíveis.** 2015. Disponível em: <http://www.abief.com.br/noticias_flex.php> Acesso em: 28 out. 2015.

ABIPLAST, **Perfil 2014.** 2015. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas>> Acesso em: 29 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 1.128: Condições gerais de fornecimento de energia elétrica.** Brasília: ANEEL, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 649: bandeiras tarifárias:** Brasília: ANEEL, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 414: Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada:** Brasília: ANEEL, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 569: Modifica a abrangência na aplicação do fator de potência para faturamento do excedente de reativos de unidades consumidoras e altera a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.** Brasília: ANEEL, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 456: condições para medição e faturamento de energia reativa excedente:** ANEEL, 2000.

ARAÚJO W.R, OKUMOTO J.C, et al. **Projeto luminotécnico no contexto da Eficiência Energética** – Estudo de caso. 2007; Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. 2007.

BATISTA, E. O. **Redução do custo da energia elétrica em ambientes industriais por meio de uma estratégia de baixo custo em gestão energética.** 2013. 92 f. Dissertação – Curso de engenharia elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

BARBOSA, Carlos Eduardo Oliveira. **Gerenciamento de Demanda e Eficiência Energética em uma Indústria de Separação de Gases do Ar.** 2010. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Pernambuco. Recife, 2010.

BARROS, B. F. et al. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica.** 2010. ed. Érica, 175 p. São Paulo, SP, 2010.

MME/EPE - BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030.** Eficiência Energética (Vol. 11). Brasília, DF, 2007.

BNDES. **Apoio a projetos de eficiência energética.** 2012. Disponível em:<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atualizacao/Meio_Ambiente/proesco.html>. Acesso em: 21 jul. 2015.

CAPELLI, A. **Energia elétrica: qualidade e eficiência para aplicações industriais.** São Paulo, SP. Ed. Érica, 2013.

COSTA, G; **Iluminação econômica, cálculo e avaliação,** 4.ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006.

CROUCHER, M. **Potential problems and limitations of energy conservation and energy efficiency.** Energy Policy, 39, 5795-5799. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.011>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso**. 2004. 95 f. Dissertação – Mestrado em energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

CONPET. **Ação local benefício global**. 2012. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>. Acesso em: 21 jul. 2015.

COPOM. Comitê de Política Monetária. Sistemas de Metas para a Inflação. **Ata 196ª Reunião**, Brasília. 2016.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Eficiência energética na indústria** (Boletim). CNI. Brasília. DF, 2009.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 2007. 15 ed. Rio de Janeiro-RJ. Ed. LTC, 2007.

DOURADOS, MS. Google Maps. Google. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Dourados,+MS/@-22.222039,-54.7430638,1340m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x9489a825ba544f99:0xd96ef82be62edddc>> Acesso em: 30 jul. 2015.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil) (Org.). **Estudo de demanda: Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. 2010.

FIESP. **Mercado livre de energia elétrica é uma tendência mundial, afirma presidente da abraceel**. 2016. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/noticias/mercado-livre-de-energia-eletrica-e-uma-tendencia-mundial-afirma-presidente-da-abraceel>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

GALDINO, M; MOTHÉ, C. G. **Fontes alternativas de energia**. 2007. Disponível em: <http://www.revistaanalitica.com.br/ed_anteriores/32/Art05.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2015.

GOMES, M. J. S. B. A. **Guia para a implementação de um programa de gestão de energia na indústria**. 2009. 100 f. Dissertação - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: Perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. 103 f. Tese - Departamento de Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

HADDAD, J. et al. **Guia técnico: Gestão energética**. Rio de Janeiro. 188 p, 2005.

IBGE. **Índices nacionais de preços ao consumidor**. Dezembro de 2015. Rio de Janeiro, 2016.

INMETRO. **O programa brasileiro de etiquetagem**. 2014. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em: 21 jul. 2015.

KRAUSE, C. B. et al. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. 15. ed. Rio de Janeiro. RJ, 2002.

LIMA, A. C. **Sistema decisório fuzzy aplicado ao gerenciamento de energia elétrica no lado da demanda**. 2003. 161 f. Dissertação - Curso de Programa de Pós-graduação engenharia elétrica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2003.

MAMEDE, J. **Instalações elétricas industriais**. 6 ed. LTC Rio de Janeiro, RJ, 2001.

MARTIN, J. **A economia mundial de energia**. Editora da Universidade Estadual Paulista. São Paulo, SP, 1992.

MCKANE, Aimee; HASANBEIGI, Ali. Motor systems energy efficiency supply curves: A methodology for assessing the energy efficiency potential of industrial motor systems. **Energy Policy**, Berkeley (euba), v. 39, n. 10, p.6595-6607, out. 2011.

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: Classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo**. 2007. 114 f. Dissertação – Mestrado em engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, **Plano nacional de energia 2030**. Brasília, DF, 2007.

NOGUEIRA, E. M. S. M. **Utilização racional de energia elétrica: caracterização e aplicação de sistema integrados de gestão de energia elétrica**. 1991. 103f. Dissertação – Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1991.

OLIVEIRA, L. S. **Gestão do consumo de energia elétrica no campus da UNB**. 238 f. Dissertação – Engenharia elétrica, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2006.

OLIVEIRA, I. P. **Eficiência energética em sistemas de energia elétrica: Um estudo de caso em uma indústria de lubrificantes**. Campo Grande, 2015. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil, 2015.

OSRAM - **Lâmpadas**. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/produtos/tecnologia-led/lampadas/index.jsp>. Acesso em: 21 de Junho de 2016.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2006.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Gestão energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

ROCHA, Carlos Roberto; MONTEIRO, Marco Aurélio Guimarães. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido – manual prático**. 2004. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/ManualArComprimido.pdf>. Acesso em: 10 maio 2015.

SALOMÃO, T. M. **Eficiência energética: Projeto luminotecnico em plantas industriais**. 2010. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2010.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. 2006. 3º ed. Itajubá: Eletrobrás/PROCEL EDUCAÇÃO e UNIFEI, 2006.

SYLVANIA - **Produtos**. Disponível em: <<http://www.sylvania-mericas.com/novosite/produtos/index.aspx?categoria=Fluorescentes%20Tubulares&idCategoria=5>>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.

SOBRINHO, J. L. A. **Proposta de metodologia de gestão de energia elétrica no processo industrial**. 2011. 110 f. Dissertação - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento, Curitiba, 2011.

SCHAEFFER, R. et al, **Avaliação dos índices de eficiência energética para motores trifásicos de indução**, 2005. Rio de Janeiro, RJ.

TONIM, G. **A gestão de energia elétrica na indústria – Seu suprimento e uso eficiente**. 2009. Dissertação. Sistemas de Potência, Departamento de Engenharia de Energia e Automação elétricas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

VASCONCELOS, L. L. D. S. **Melhoria da Eficiência Energética e Eliminação do Desperdício na Fábrica dos Plásticos Colep Portugal S.A.** 2012. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2009.

YANG, Ming. Air compressor efficiency na Vietnamese enterprise. **Energy Policy**, China, v. 6, n. 37, p.2327-2337, 06 jun. 2009.