

Universidade Federal do Rio de Janeiro

FATORES DE INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA

Marcos Cortez Brito Leite Póvoa

2014



FATORES DE INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Marcos Cortez Brito Leite Póvoa

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro

Março de 2014

FATORES DE INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Marcos Cortez Brito Leite Póvoa

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinado por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

Prof. Júlio César de Carvalho Ferreira, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2014

Póvoa, Marcos Cortez Brito Leite

Fatores de influência na Eficiência Energética / Marcos Cortez Brito Leite Póvoa. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

XIV, 58 p.: il.: 29,7 cm

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Elétrica, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 49-53.

1. Eficiência energética. 2. Iluminação. 3. Refrigeração.
4. Fator de potência. 5. Sistemas de ar comprimido.
6. Eletrodomésticos. 7. Metodologia. 8. Estudo de caso.
I. Nascimento, Jorge Luiz do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Elétrica.
III. Fatores de influência na Eficiência Energética.

NAMO TASSA BHAGAVATO ARAHATO
SAMMĀSAMBUDDHASA

HOMENAGEM A ELE, AO AFORTUNADO, AO CONSUMADO,
AO PERFEITAMENTE ILUMINADO

Aos meus pais, Rodolpho Antônio e Flávia Regina,
aos meus irmãos, Rogério e Sílvia Maria,
e à minha namorada, Thalita.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me abençoar com uma vida saudável e próspera, com oportunidades que, creio, soube aproveitar e pretendo continuar aproveitando.

Aos meus pais, que sempre propiciaram o melhor para mim e meus irmãos, mesmo que isso significasse sacrifícios em suas vidas. A família criada por eles é minha base moral, onde pude aprender todos os bons valores necessários para uma vida digna.

Aos meus irmãos, que sempre me inspiraram tanto pessoal quanto profissionalmente, incitando-me a ser uma pessoa melhor a cada dia.

À minha namorada, que sempre me apoiou nos momentos difíceis e me animou quando eu precisei.

Aos obreiros de minha oficina, que sempre compreenderam minhas ausências. Que o G::A::D::U:: os ilumine sempre.

Aos muitos amigos que fiz durante a graduação e que pretendo levar por toda a vida, sem os quais não teria suportado as diversas provas pelas quais passamos juntos.

À toda família de Fabio Fernandes Figueira, por receber tão bem a mim, Guilherme Arnizaut e Pedro Altoé nas incontáveis noites de estudo.

Aos professores da UFRJ, que sempre serão meus orientadores. Ao professor orientador Jorge Luiz, que mostra diariamente que o magistério é mais que passar o conteúdo de uma ementa, é ensinar a refletir sobre as nossas ações.

À LS Relevografia e todos os seus funcionários, em especial Osmani Stela e Caique Stela, pela solicitude em prestar todas as informações necessárias para a realização do estudo de caso desse projeto.

Aos amigos de trabalho da Frank Mohn do Brasil, pelo convívio diário e ensinamentos profissionais.

Assim como sobre um montão de refugio na estrada jogado
O lótus lá pode crescer, docemente fragrante e delicioso;
Assim também entre o refugio humano, os cegos mundanos,
Resplandece com sabedoria o discípulo do Perfeitamente Iluminado.

(Dhammapada 4.58/59)

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Fatores de influência na Eficiência Energética

Marcos Cortez Brito Leite Póvoa

Março/2014

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

Esse projeto visa conceituar a eficiência energética, elencando os fatores que a influenciam e estudando as oportunidades que cada um apresenta para melhorar o uso da energia elétrica. Após pesquisa sobre diferentes metodologias empregadas em projetos de eficiência energética, esses conceitos são aplicados em uma instalação elétrica de uma gráfica tradicional, avaliando os resultados obtidos.

Palavras-chave: Eficiência energética, Iluminação, Refrigeração, Fator de potência, Sistemas de ar comprimido, Eletrodomésticos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Influencing Factors in Energy Efficiency

Marcos Cortez Brito Leite Póvoa

March/2014

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

This project aims to conceptualize energy efficiency, listing the factors that influence it and studying the opportunities that each factor presents to improve the use of electric energy. After research of different methodologies employed in energy efficiency projects, these concepts are applied in an electrical installation of a traditional graphics, evaluating the results obtained.

Keywords: Energy efficiency, Lighting, Refrigeration, Power factor, Compressed air systems, Home appliance.

Sumário

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução.....	1
1.1 Contexto	1
1.2 Objetivo	4
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Organização	5
2 Eficiência energética.....	6
2.1 Introdução.....	6
2.2 Conceitos e definições utilizadas.....	7
2.2.1 Eficiência energética.....	7
2.2.2 Energia conservada ou Conservação de energia.....	8
2.2.3 Indicadores de eficiência energética e suas categorias	8
2.2.4 Energia útil	9
2.2.5 Progresso autônomo e induzido.....	10
2.2.6 Contexto econômico e demográfico	10
2.2.7 Considerações gerais	10
3. Fatores que influenciam a eficiência energética.....	11
3.1 Iluminação	11
3.1.1 Conceitos fundamentais e grandezas envolvidas.....	11
3.1.1.1 Luz.....	11
3.1.1.2 Fluxo luminoso (Φ)	12
3.1.1.3 Iluminância ou Iluminamento (E)	12

3.1.1.4 Luminância (L).....	13
3.1.1.5 Temperatura de cor.....	13
3.1.2 Lâmpadas.....	14
3.1.2.1 Lâmpadas incandescentes.....	14
3.1.2.2 Lâmpadas de descarga.....	14
3.1.2.2.1 Lâmpadas fluorescentes.....	15
3.1.2.3 Lâmpadas de estado sólido.....	15
3.1.3 Eficiência energética na iluminação.....	15
3.2 Refrigeração.....	16
3.2.1 Conceitos básicos.....	17
3.2.1.1 Temperatura.....	17
3.2.1.2 Calor sensível.....	17
3.2.1.3 Calor latente.....	17
3.2.1.4 Umidade relativa do ar (UR).....	17
3.2.1.5 Entalpia.....	18
3.2.1.6 Ciclo frigorífico por compressão.....	18
3.2.1.7 Coeficiente de performance (COP).....	19
3.2.1.8 EER - Energy Efficiency Rate (Razão de Eficiência Energética).....	19
3.2.1.9 Eficiência em kW/TR.....	20
3.2.1.10 Transmissão de calor.....	20
3.2.1.10.1 Radiação.....	20
3.2.1.10.2 Convecção.....	20
3.2.1.10.3 Condução.....	21
3.2.2 Equipamentos de ar condicionado e seus rendimentos típicos.....	21
3.2.3 Dimensionamento da refrigeração.....	21

3.2.4 Eficiência energética na refrigeração	22
3.3. Fator de potência	23
3.3.1 Conceitos básicos	23
3.3.1.1 Potência Ativa ou Potência Real	23
3.3.1.2 Potência Reativa	23
3.3.1.3 Potência Completa.....	24
3.3.1.4 Definição de fator de potência.....	24
3.3.2 Causas mais comuns do baixo fator de potência	24
3.3.3 Eficiência energética no fator de potência.....	25
3.3.4 Vantagens da correção do fator de potência.....	25
3.4. Sistemas de ar comprimido	26
3.4.1 Conceitos básicos	26
3.4.1.1 Rendimento dos compressores	26
3.4.1.2 Compressão dos gases	27
3.4.1.3 Trabalho teórico de compressão	28
3.4.1.4 Compressão em estágios.....	29
3.4.1.5 Potência real de compressão.....	29
3.4.2 Eficiência energética em sistemas de ar comprimido.....	29
3.4.2.1 Diminuição da massa de ar	30
3.4.2.2 Redução da temperatura de aspiração	30
3.4.2.3 Redução da pressão de operação	30
3.4.2.4 Diminuição das perdas de carga	30
3.4.2.5 Compressão em estágios.....	30
3.4.2.6 Aproveitamento do calor rejeitado	30
3.5 Eletrodomésticos	31

3.5.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).....	31
3.5.2 Consumo médio mensal de eletrodomésticos.....	32
3.5.3 Eficiência energética nos eletrodomésticos.....	33
4 Metodologias de projetos de eficiência energética.....	34
4.1 Método Sebrae.....	34
4.2 Método Salomão.....	35
4.3 Método ANEEL.....	36
4 Metodologia a ser seguida no estudo de caso.....	36
5. Estudo de caso.....	37
5.1 Eficiência na iluminação.....	38
5.2 Eficiência na refrigeração.....	40
5.3 Eficiência no fator de potência.....	42
5.4 Eficiência na em sistemas de ar comprimido.....	42
5.5 Eficiência em eletrodomésticos.....	43
5.6 Resultados e análises.....	43
6. Conclusão.....	46
6.1 Sugestões de trabalhos futuros.....	47
Referências Bibliográficas.....	49
Apêndice A - Levantamento completo de carga e conta de luz.....	54
A.1 Levantamento de carga.....	54
A.2 Contas de luz.....	56

Lista de Figuras

1.1 Índice de Desenvolvimento Humano e uso de eletricidade. 60 países, 1997.....	2
3.1 Espectro eletromagnético	11
3.2 Temperatura de cor.....	13
3.3 Psicrômetro.....	18
3.4 Ciclo frigorífico por compressão.....	19
3.5 Triângulo retângulo de potência.....	24
3.6 Etiqueta do PBE	32
A.1 Consumo de energia elétrica de Junho de 2012 a Junho de 2013	58
A.2 Custo com energia elétrica de Junho de 2012 a Junho de 2013	58

Lista de Tabelas

2.1 Indicadores globais utilizados no Brasil.....	9
3.1 Cores correspondentes aos comprimentos de onda	12
3.2 Exemplos de eficiência luminosa	16
3.3 Valores típicos de rendimento de equipamentos de ar condicionado.....	21
3.4 Cálculo da carga térmica de um ambiente.....	22
3.5 Valores típicos de consumo médio mensal.....	33
4.1 Método Sebrae.....	34
5.1 Classificação de cargas na empresa.....	38
5.2 Substituição de iluminação por lâmpadas fluorescentes compactas	39
5.3 Substituição de iluminação por lâmpadas de LED.....	39
5.4 Substituição parcial de iluminação por lâmpadas de LED.....	40
5.5 Substituição de refrigeração por aparelhos split inverter	41
5.6 Substituição de refrigeração por aparelhos split tradicionais	42
5.7 Caso geral	45
A.1 Levantamento de carga da empresa.....	55
A.2 Contas de luz - Junho de 2011 a Junho de 2013.....	57

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Contexto

A crescente demanda por energia elétrica cria a necessidade de uma maior oferta desta no mercado. Com o intuito de manter o fornecimento de energia elétrica, investe-se em geração de energia elétrica, e, para que esta energia chegue aos consumidores, investe-se também em transmissão e distribuição de energia [1].

A solução do problema, no entanto, não se restringe ao aumento da geração de energia elétrica, importação de gás natural e energia elétrica de países vizinhos, pois essas soluções só visam a oferta. Observando a demanda, nota-se que há muito desperdício e uso ineficiente da energia elétrica.

Diversos países no mundo passaram a desenvolver programas de eficiência energética, com o intuito de combater o desperdício. Entre esses países, os Estados Unidos da América atuam através dos governos federal e estaduais no setor industrial, impondo limites mínimos de eficiência na produção. Exigem também que os equipamentos elétricos utilizados, por exemplo motores elétricos e transformadores, apresentem um rendimento mínimo obrigatório.

O Escritório de Eficiência Energética e Fontes Renováveis (*Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*), vinculado ao Departamento de Energia (*Department of Energy – DOE*), é responsável pelo Programa de Tecnologias Industriais (*Industrial Technologies Program – ITP*). Esse programa federal busca melhorar a eficiência energética na indústria e, conseqüentemente, preservar o meio ambiente [2].

A Alemanha tenta com sua política dissociar consumo energético de bem-estar social, posto que 70% das emissões de gases de efeito estufa mundiais são causados

pela geração de energia. Há mais de trinta anos o país aumenta a eficiência no transporte, indústria e residências [3].

Um exemplo dessa dissociação proposta pela Alemanha pode ser visto na Figura 1.1, que relaciona o consumo de eletricidade per capita com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O Brasil aparece com IDH próximo a 0.8 e consumo per capita próximo a 2.000 kWh. Percebe-se que em países muito desenvolvidos, o aumento do consumo de eletricidade per capita não se traduz em aumento de IDH [4].

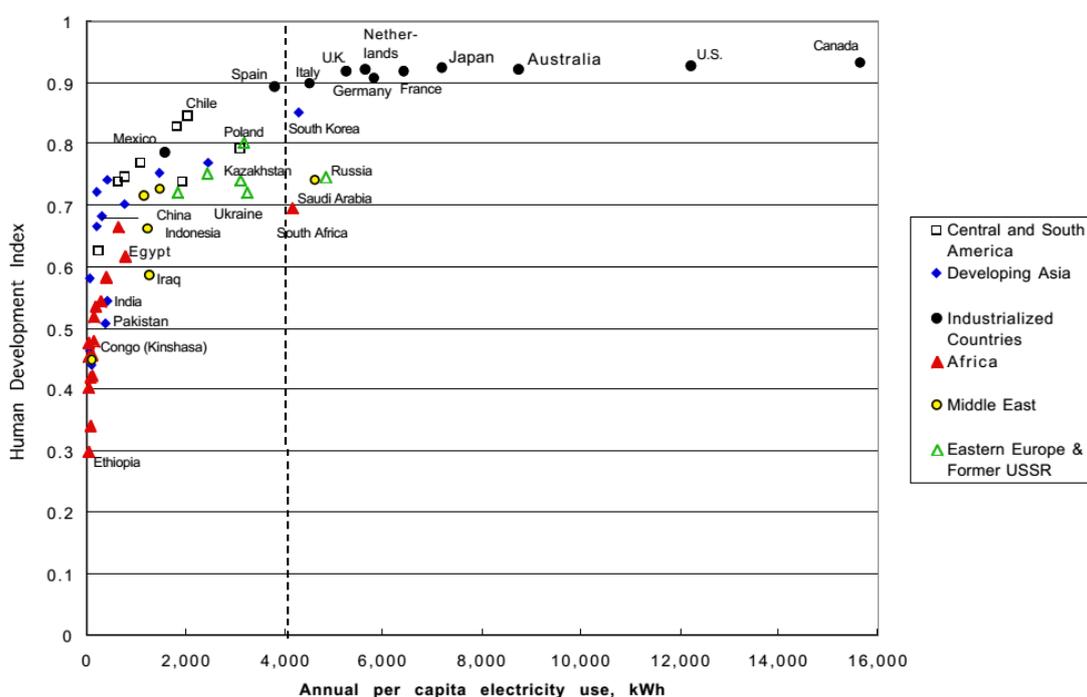


Figura 1.1 – Índice de Desenvolvimento Humano e uso de eletricidade. 60 países, 1997 [4].

Em 2004, o governo alemão lançou o Plano Nacional de Alocação (NAP). Sua estrutura contém um plano macro, apresentando as emissões do país e o total de licenças de emissões para as companhias a serem emitidas, e um plano micro, que concede individualmente essas licenças [5].

A Alemanha mantém um Acordo Energético Brasil-Alemanha, com os objetivos de: reduzir a demanda energética associada ao crescimento econômico; garantir segurança no fornecimento de energia sem aumentar as emissões de gases de efeito

estufa; e criar novos postos de trabalho através de investimentos em tecnologias sustentáveis de eficiência energética e geração de energia [3].

No Brasil, em 1985, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia e execução pela Eletrobras. Foram utilizados recursos da Reserva Global de Reversão (RGR) e de entidades internacionais [6]. Seu objetivo é promover o uso eficiente da energia elétrica, reduzindo o consumo e a demanda de energia elétrica através do combate ao desperdício [1].

Seguindo uma tendência mundial, o governo brasileiro passou a traçar metas de redução de consumo de energia elétrica [5], estabelecendo diferentes patamares para os setores industriais, comerciais e residenciais.

É importante associar a economia de energia com o adiantamento da necessidade de construção de novas usinas geradoras, sistemas de transmissão, distribuição, subestações. Tal situação permite a disponibilização de recursos para outras áreas e contribui para a preservação da natureza [7].

Para o consumidor, o uso eficiente de energia elétrica se traduz em redução de gastos, otimização dos sistemas presentes em sua instalação, além de uma imagem associada à preservação da natureza, valorizada por clientes mais atenciosos [8].

Este trabalho analisará como instalações elétricas podem minimizar seus custos com energia elétrica através da eficiência energética. Serão analisadas as diferentes áreas de atuação de um projeto de eficiência energética.

Haverá também um pequeno estudo de caso, onde poderão ser vistos os resultados obtidos para um projeto de eficiência energética. Este estudo de caso aplicará os conhecimentos aprendidos durante a graduação e a produção desse projeto na LS

Relevografia, uma gráfica tradicional localizada em Ramos, bairro da Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é rever a conceituação de eficiência energética, tanto em termos legais quanto em termos técnicos, analisando os diferentes fatores que impactam a eficiência energética, como a iluminação, refrigeração, fator de potência e sistemas de ar comprimido, para que, assim, possa-se adequar às metas de redução de consumo de energia elétrica, de modo a contribuir com a diminuição da crescente demanda energética em nosso país.

1.3 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido conforme as etapas abaixo:

1. Revisão bibliográfica sobre os fundamentos teóricos da eficiência energética.
2. Revisão bibliográfica sobre luminotécnica e as tecnologias relacionadas.
3. Revisão bibliográfica sobre refrigeração e as oportunidades para melhorar a eficiência energética.
4. Revisão bibliográfica sobre fator de potência.
5. Revisão bibliográfica sobre sistemas de ar comprimido e os processos envolvidos.
6. Revisão bibliográfica sobre eletrodomésticos.
7. Pesquisa sobre metodologias de projetos de eficiência energética.
8. Levantamento da carga elétrica da empresa LS Relevografia.
9. Análise das cargas elétricas da empresa com sugestões de substituição.
10. Estudo de viabilidade técnico econômica da implementação das sugestões.

1.4 Organização

Este projeto está estruturado em 5 capítulos, além deste capítulo introdutório.

No Capítulo 2, apresentam-se os principais pontos analisados pela eficiência energética, bem como a possibilidade de redução de gastos em cada um desses pontos.

O Capítulo 3 elenca os fatores que influenciam a eficiência energética, analisando iluminação, refrigeração, fator de potência, sistemas de ar comprimido e eletrodomésticos, revendo os conceitos básicos relacionados a cada um desses tópicos, como é avaliada a eficiência energética de cada um, quais as tecnologias utilizadas e como se pode melhorar a eficiência energética em cada um.

No Capítulo 4 serão abordadas metodologias utilizadas em projetos de eficiência energética, seguindo diferentes linhas de pesquisa, além da definição de uma metodologia a ser utilizada no estudo de caso do capítulo seguinte.

O Capítulo 5 faz um estudo de caso em uma empresa, analisando as contas de luz e pontos da eficiência energética que podem ser aplicados com o intuito de minimizar os custos com energia elétrica, sem olvidar a segurança dos trabalhadores.

Conclui-se o presente trabalho no Capítulo 6, com as considerações finais sobre a importância do estudo e da aplicação da eficiência energética, os resultados teóricos obtidos e pontos a serem pesquisados em futuros projetos finais.

No Apêndice A consta o levantamento completo de cargas e informações de contas de luz no período de Junho de 2011 a Junho 2013.

Capítulo 2 – Eficiência energética

2.1 Introdução

Com o intuito de se tornarem mais competitivas, as empresas buscam na eficiência energética uma oportunidade para reduzir custos [7]. Ora adotando um discurso ambientalista, ora prevendo dificuldades na disponibilidade energética, o uso consciente da energia elétrica entra em pauta na gestão de uma empresa e buscam-se conceitos da engenharia, da economia e da administração, aplicando-os aos sistemas energéticos [9].

O assunto eficiência energética ganhou destaque no cenário mundial principalmente depois da crise do petróleo da década de 1970, quando percebeu-se que o uso de combustíveis fósseis tem custos econômicos e ambientais crescentes [10]. Ficou cada vez mais claro que a correção de hábitos e a utilização de equipamentos mais eficientes podem diminuir a necessidade da ampliação da geração de energia elétrica, geração essa por vezes atrelada a fontes não renováveis de energia.

O governo federal brasileiro, por sua vez, propõe diretrizes através do Ministério de Minas e Energia, do Ministério da Educação, da Eletrobras e outras instituições, objetivando prover a indústria e os diferentes setores do país com informações úteis e técnicas, com foco tanto teórico quanto prático [7]. Entre diversas iniciativas, destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sob coordenação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), sob coordenação da Eletrobras, e o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), sob coordenação da Petrobras [10].

De acordo com estimativas realizadas a partir do Balanço de Energia Útil (BEU), os setores residencial, industrial e de transportes oferecem mais da metade do potencial de eficiência energética no Brasil. Esses três setores representaram juntos mais de 80% do consumo energético final do país em 2011 [11]. Desse modo, esses setores se tornam interessantes para um estudo mais detalhado da eficiência energética.

Algumas das áreas nas quais se podem promover a eficiência energética são:

- Iluminação;
- Refrigeração;
- Fator de Potência;
- Sistemas de ar comprimido;
- Equipamentos elétricos;
- Motores elétricos e
- Conscientização do uso da energia.

A chamada gestão energética é o procedimento para se abordar a eficiência energética de maneira corretiva em uma instalação existente e de maneira preventiva em uma nova instalação. Mister se faz a compreensão da realidade energética através de avaliações das cargas elétricas instaladas, dos processos envolvidos na indústria ou comércio em questão e das possibilidades de melhorar a eficiência das cargas ou eliminação das mesmas [7].

2.2 Conceitos e definições utilizadas

2.2.1 Eficiência energética

Define-se eficiência energética como a relação entre a quantidade de energia final utilizada e a quantidade de um bem produzido ou serviço realizado, como pode-se ver na Equação 2.1 [10].

$$\textit{Eficiência Energética} = \frac{\textit{Energia do produto}}{\textit{Energia total consumida}} \quad (2.1)$$

Por exemplo, uma lâmpada transforma a eletricidade em luz e calor, porém seu objetivo é somente iluminar. Uma medida da sua eficiência é obtida dividindo a energia da luz pela energia elétrica usada [12], conforme Equação 2.2.

$$Eficiência\ Energética_{lâmpada} = \frac{Luz\ (lm)}{Potência\ (W)} \quad (2.2)$$

Dessa maneira, relaciona-se a eficiência à quantidade de energia utilizada e não à quantidade de energia teórica mínima necessária para realizar a mesma tarefa [10]. O conceito relacionado à energia teórica mínima é o potencial de eficiência. Assim, quanto mais próximo do mínimo teórico for o consumo de energia, mais eficiente terá sido a tarefa sob o ponto de vista da eficiência energética.

2.2.2 Energia conservada ou Conservação de energia

Trata-se do consumo de energia evitado ao se adotar uma mudança tecnológica ou alteração no padrão do consumo [11]. Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100W possui um fluxo luminoso de 1.380 lm, e uma lâmpada fluorescente compacta de 25 W possui um fluxo luminoso de 1.300 lm, ou seja, praticamente a mesma iluminação, porém com 75% a menos de energia associada [13]. É importante que não se confunda o conceito de conservação de energia dentro dos estudos de eficiência energética com o conceito de conservação de energia no sentido físico teórico, pois aqui o importante é a redução efetiva do consumo final de energia [10].

2.2.3 Indicadores de eficiência energética e suas categorias

Analisa-se a eficiência energética a partir de indicadores. Estes podem ser divididos em quatro categorias principais, a saber:

- Termodinâmicos: comparação entre o uso ideal de energia, baseado na termodinâmica, e o uso real de energia.

- Físicos-termodinâmicos: comparação entre a quantidade de energia requerida em unidades termodinâmicas e a quantidade da saída (produto) expressa em unidades físicas.
- Econômicos-termodinâmicos: comparação entre a quantidade de energia requerida em unidades termodinâmicas e o valor monetário da saída (produto), este expresso em unidades econômicas.
- Econômicos: relaciona-se tanto a energia requerida como os produtos em valores monetários.

Alguns indicadores globais utilizados pela EPE para projetar a demanda futura no Brasil estão expressos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Indicadores globais utilizados no Brasil.

Indicador	Expressão	Unidade
Consumo final per capita	Consumo final de eletricidade por habitante.	kWh/hab
Consumo final por domicílio	Consumo final de eletricidade por domicílio.	kWh/dom
Intensidade energética	Consumo final de energia por unidade de valor adicionado.	MWh/R\$ tep/R\$
Consumo específico	Consumo final de energia por unidade física de produto.	MWh/ton tep/ton

2.2.4 Energia útil

O conceito de energia útil engloba a energia efetivamente utilizada, tal qual calor, iluminação, potência mecânica. No Brasil, a estimação dos valores de energia útil é apresentada no Balanço de Energia Útil (BEU). Neste documento, energia útil é a parte da energia final utilizada, isto é, a energia final menos as perdas. Assim, poder-se-ia expressar como o produto da energia final por um rendimento energético.

O BEU estabelece, porém, que esse rendimento energético só se refere à primeira transformação de energia. Tal simplificação reduz o potencial de economia ao não considerar as perdas e, logo, desconsidera oportunidades de aumento de eficiência.

2.2.5 Progresso autônomo e induzido

Há dois movimentos na eficiência energética. O primeiro, chamado tendencial, considera o aumento da eficiência energética com a reposição tecnológica, causada pelo fim da vida útil dos equipamentos em uso. O segundo, chamado progresso induzido, é oriundo de políticas públicas impostas a determinados setores.

2.2.6 Contexto econômico e demográfico

Uma abordagem da eficiência energética também considera o crescimento demográfico e econômico do país, pois tais crescimentos implicam no aumento absoluto e per capita no consumo de energia elétrica.

O aumento no consumo de energia elétrica gera novas motivações para a implementação da eficiência energética, pois aumentar a porcentagem de economia pode influenciar os planos de expansão da geração de energia.

2.2.7 Considerações gerais

O Brasil ainda não considera metas para redução de emissões de gases de efeito estufa, o que poderia limitar o consumo de energia. Logo, o incremento na eficiência energética é motivado basicamente por duas razões:

- motivação própria dos consumidores, com o intuito de reduzir custos e a atualização tecnológica e
- incentivo por parte de programas e iniciativas de agentes governamentais.

Capítulo 3 – Fatores que influenciam a eficiência energética

3.1 Iluminação

A iluminação responde por aproximadamente 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial [7]. Deste modo, o estudo da luminotécnica se faz importante como instrumento de aplicação da eficiência energética.

A luminotécnica estuda a iluminação compatível com a utilização de ambientes interiores e locais exteriores. Deve-se escolher corretamente a modalidade de iluminação, os tipos de lâmpadas e luminárias, potência, quantidade, localização, distribuição, entre outros, de modo a otimizar o consumo, sem comprometer a atividade desenvolvida no local [13].

3.1.1 Conceitos fundamentais e grandezas envolvidas

3.1.1.1 Luz

Trata-se da energia radiante que um observador é capaz de perceber sensorialmente pela visão, compreendida em uma faixa de radiações das ondas eletromagnéticas situada entre 380 e 780 nm.

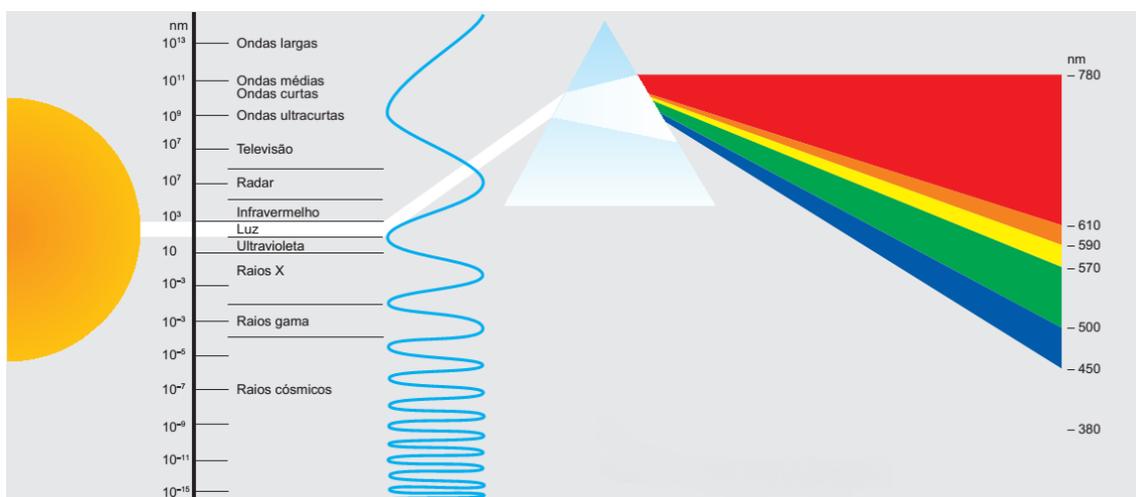


Figura 3.1 – Espectro eletromagnético [29].

Diferentes comprimentos de onda geram diferentes reações ao mecanismo de percepção sensorial visual do observador, cuja interpretação determina diferentes cores. A Tabela 3.1 indica a cor interpretada conforme o comprimento de onda.

Tabela 3.1 – Cores correspondentes aos comprimentos de onda.

Faixa de comprimento de onda (nm)	Cor
< 450	Ultravioleta
400 – 450	Violeta
450 – 500	Azul
500 – 570	Verde
570 – 590	Amarelo
590 – 610	Laranja
610 – 780	Vermelho
> 780	Infravermelho

3.1.1.2 Fluxo luminoso (Φ)

É a potência de radiação luminosa total emitida por uma fonte de luz, i.e., a potência de energia luminosa percebida pelo olho humano. Tem como unidade o lúmen (lm).

3.1.1.3 Iluminância ou Iluminamento (E)

É a relação entre o fluxo luminoso e a superfície sobre a qual incide. Sua unidade é o lux (lx), definido como a iluminância sobre uma superfície de 1m² recebendo de uma fonte puntiforme, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen uniformemente distribuído. Na prática, trata-se de um valor médio, pois o fluxo luminoso não se distribui uniformemente. Iluminamento é a denominação dada pelo Inmetro para essa grandeza. A Equação 3.1 mostra a expressão utilizada para se obter essa grandeza.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3.1)$$

3.1.1.4 Luminância (L)

Considerando-se uma superfície iluminante ou iluminada, esta causará uma sensação de maior ou menor claridade para um observador. A luminância é a medida desta sensação de claridade. Sua unidade é o candela por metro quadrado (cd/m^2). O limiar da percepção visual é igual a $10^{-5}\text{cd}/\text{m}^2$. A Equação 3.2 mostra a expressão utilizada para se obter essa grandeza.

$$L = \frac{I}{S} \quad (3.2)$$

3.1.1.5 Temperatura de cor

A temperatura de cor é definida a partir da cor da luz emitida por um filamento de tungstênio aquecido a uma determinada temperatura. Dessa maneira, a temperatura de corpo luminoso da lâmpada informa não somente o fluxo luminoso emitido, mas também a cor da luz. Quanto maior a temperatura de cor, mais uniforme o espectro luminoso e mais branca a cor da luz. Esta temperatura é geralmente informada em Kelvin. O filamento de tungstênio aquecido até 2.000 K apresenta uma luz de aparência branco-avermelhada. Já a 3.400 K, é quase branca. A luz branca natural emitida pelo sol em céu aberto ao meio dia tem temperatura de cor de aproximadamente 5.800K.

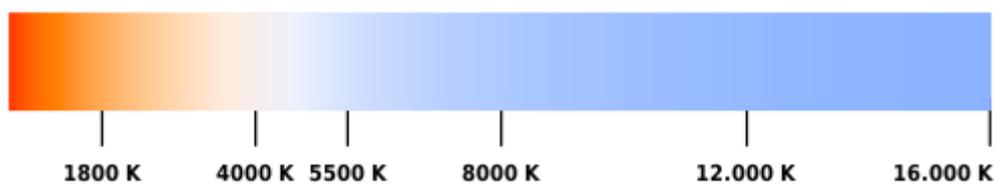


Figura 3.2 – Temperatura de cor [30].

A temperatura de cor não está relacionada ao fluxo luminoso, isto é, uma maior temperatura de cor não se traduz em maior fluxo luminoso.

3.1.2 Lâmpadas

Utilizam-se as lâmpadas para iluminação artificial de ambientes e atualmente existem três categorias de lâmpadas sendo comercializadas:

- Lâmpadas incandescentes;
- Lâmpadas de descarga e
- Lâmpadas de estado sólido.

Existem também tecnologias de lâmpadas sendo pesquisadas, mas suas aplicações se restringem ao ambiente acadêmico e ainda há pouca ou nenhuma demanda comercial. Podem-se citar como exemplos o OLED (diodo emissor de luz orgânico – *organic light emitting diode*) e o QLED (ou QDLED, diodo emissor de luz que utiliza pontos quânticos – *quantum dots light emitting diode*) [14, 15, 16].

3.1.2.1 Lâmpadas incandescentes

Nesse tipo de lâmpadas a emissão de luz é obtida a partir do aquecimento pela passagem de corrente elétrica até o filamento de tungstênio atingir a incandescência. O filamento fica contido no interior de um bulbo de vidro, de modo que se possa evitar sua oxidação. Para isto, realiza-se o vácuo no interior do bulbo, ou preenche-se com um gás inerte, como nitrogênio ou argônio [13].

3.1.2.2 Lâmpadas de descarga

Nesse tipo de lâmpada, a emissão de luz é obtida através da excitação de gases ou vapores metálicos, devido à tensão elétrica entre eletrodos especiais. A faixa de comprimento da luz emitida pela lâmpada varia de acordo com a pressão interna da lâmpada, a natureza do gás ou a presença de partículas no interior do tubo.

Entre as diferentes classes das lâmpadas de descarga (fluorescente, sódio, mercúrio, mista e vapores metálicas), será brevemente explicada a lâmpada fluorescente, pelo seu uso mais rotineiro em ambientes residenciais e comerciais.

3.1.2.2.1 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são formadas por um tubo o qual na parede interna é fixado um material fluorescente. Efetua-se uma descarga elétrica a baixa pressão, em presença de vapor de mercúrio, produzindo-se uma radiação ultravioleta que, ao entrar em contato com o material fluorescente na parede interna do tubo, transforma-se em luz visível. Nas extremidades do tubo encontram-se eletrodos de tungstênio, que atuam como catodos.

Para o funcionamento dessas lâmpadas, instala-se em conjunto um reator e um disparador (*starter*). O reator aumenta a tensão durante a ignição e limita a intensidade de corrente durante o funcionamento da lâmpada. O disparador é uma espécie de minilâmpada de neônio, que provoca um pulso na tensão, iniciando a ignição na lâmpada. Caso seja utilizado um reator de partida rápida, não se faz necessário o uso de disparador.

3.1.2.3 Lâmpadas de estado sólido

O LED é constituído por uma série de camadas de material semicondutor e é capaz de converter energia elétrica diretamente em luz. Por apresentar baixo consumo de energia elétrica e longa durabilidade, torna-se uma opção interessante para melhor eficiência energética e também é interessante do ponto de vista ambiental.

Dependendo do material utilizado em sua composição, a cor emitida pelo LED varia entre vermelha, amarela, verde e azul. Para se produzir a luz branca, as cores azul, vermelha e verde são misturadas, ou utiliza-se o LED azul com fósforo amarelo.

3.1.3 Eficiência energética na iluminação

A eficiência energética na iluminação pode ser avaliada a partir da eficiência do tipo de lâmpada utilizada. Sua eficiência é dada pela razão do fluxo luminoso sobre a potência, tendo como unidade lm/W. Lâmpadas fluorescentes apresentam eficiência

maiores que lâmpadas incandescentes. Isso significa que uma maior porcentagem da potência é convertida em luz e uma menor porcentagem é convertida em calor. A Tabela 3.2 exemplifica essas informações.

Tabela 3.2 – Exemplos de eficiência luminosa.

Lâmpada	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
Incandescente	100	1.380	13,8
Fluorescente	40	3.000	75,0
Multivapores metálicos	2.000	190.000	95,0

Outras medidas podem ser tomadas para tornar o uso da iluminação mais eficiente sem trocar as lâmpadas, tais como [17]:

- Aproveitar a iluminação natural, não ligando a luz elétrica onde esta não seja necessária para o desenvolvimento de atividades;
- Desligar lâmpadas de locais desocupados;
- Utilizar tintas claras nas paredes e tetos e
- Conservar limpas as janelas e luminárias.

3.2 Refrigeração

Os sistemas de condicionamento de ar atuam na manutenção dos níveis de temperatura e umidade de um ambiente, gerando conforto para os ocupantes e, por vezes, atendendo a condições necessárias em processos produtivos. A refrigeração pode responder por até 60% do consumo de energia elétrica no setor comercial. Assim, analisar o impacto deste consumo em um projeto pode ser fundamental para elevar a eficiência energética [7].

3.2.1 Conceitos básicos

3.2.1.1 Temperatura

A temperatura é, fundamentalmente, uma propriedade da matéria que mede o nível energético de um corpo. Quanto maior a temperatura de um corpo, maior o nível de energia deste corpo. Existem diferentes unidades para indicar a temperatura, sendo graus Celsius (°C) a utilizada no sistema internacional de unidades [18].

3.2.1.2 Calor sensível

Calor sensível é o calor adicionado (ou removido) de um corpo, que aumenta (ou diminui) a sua temperatura, sem mudar o estado físico deste corpo. Ou seja, ao elevar a temperatura de uma porção de matéria, por exemplo água líquida, de 20°C até 25°C (ao nível do mar), diz-se que foi introduzido calor sensível.

3.2.1.3 Calor latente

Calor latente é o calor adicionado (ou removido) de um corpo, que não varia a sua temperatura, porém muda o estado físico deste corpo. Ou seja, ao introduzir calor em água líquida a 100°C (ao nível do mar), até esta vaporizar, diz-se que foi introduzido calor latente.

3.2.1.4 Umidade relativa do ar (UR)

A umidade relativa é a relação entre a massa de vapor d'água presente em um volume e a massa de vapor d'água necessária para saturar este volume, mantendo-se a temperatura e pressão total. A Equação 3.3 abaixo expressa essa relação.

$$UR = \frac{m_{vapH_2O}}{m_{vapH_2O\ max}} \quad (3.3)$$

É medida através de um psicrômetro, composto basicamente por dois termômetros, um de bulbo seco e outro úmido. A Figura 3.3 ilustra o instrumento.

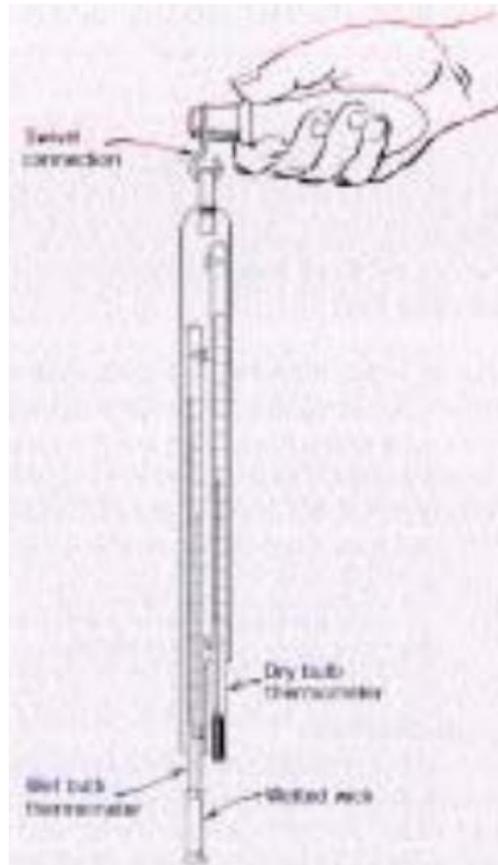


Figura 3.3 – Psicrômetro [18].

3.2.1.5 Entalpia

A entalpia é uma variável termodinâmica de posição ou de quantidade. A diferença de entalpia representa a quantidade de calor trocado pelo ar (mistura ar-vapor) entre duas posições.

3.2.1.6 Ciclo frigorífico por compressão

Existem fluidos, chamados fluidos refrigerantes, que vaporizam a temperaturas baixas. Por exemplo, o Freon 22 vaporiza a 0°C quando recebe calor e está submetido a uma pressão de 4kg/cm^2 . Um fluido nesta temperatura pode ser utilizado para remover calor de corpos a temperaturas mais elevadas, como no resfriamento do ar ou água em um ar condicionado. Dessa maneira é possível a obtenção de baixas temperaturas e a consequente remoção de calor de uma fonte quente. A evolução de um gás refrigerante

em um ciclo fechado é chamada de ciclo frigorífico por compressão, que pode ser visualizado na Figura 3.4.

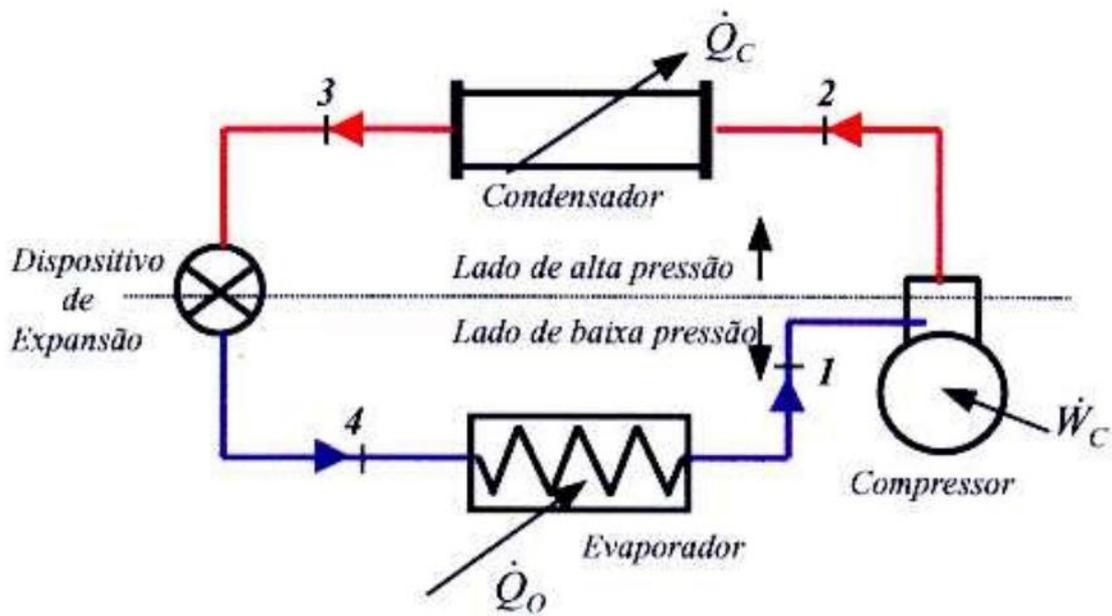


Figura 3.4 – Ciclo frigorífico por compressão [18].

3.2.1.7 Coeficiente de performance (COP)

O coeficiente de performance avalia o rendimento de um equipamento de refrigeração, relacionando a capacidade de remoção de calor (Energia útil ou Efeito frigorífico) à potência requerida pelo compressor (Energia consumida). A Equação 3.4 expressa essa relação.

$$COP = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia consumida}} \quad (3.4)$$

3.2.1.8 EER - Energy Efficiency Rate (Razão de Eficiência Energética)

Também é utilizada para indicar a eficiência de uma máquina frigorífica. Relaciona a energia útil produzida com o trabalho de compressão despendido. Sua unidade é o Btu/h/W. A Equação 3.5 expressa essa relação.

$$EER = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Trabalho de compressão}} \quad (3.5)$$

3.2.1.9 Eficiência em kW/TR

Outro indicador de eficiência de um equipamento, sendo TR (tonelada de refrigeração) equivalente a 12.000 Btu/h. A Equação 3.6 expressa essa relação.

$$kW/TR = \frac{\text{Trabalho de compressão}}{\text{Energia útil em TR}} \quad (3.6)$$

A Equação 3.7 expressa a relação entre o índice EER e kW/TR.

$$kW/TR = \frac{12}{EER} \quad (3.7)$$

3.2.1.10 Transmissão de calor

A transmissão de calor se dá por diferentes mecanismos e, por vezes, pela combinação de mais de um mecanismo. Os mecanismos são: radiação, convecção e condução. A seguir, cada um desses mecanismos é brevemente explicado.

3.2.1.10.1 Radiação

Neste mecanismo, há a transferência de energia radiante por ondas entre dois corpos separados, não requerendo um meio contínuo. O fluxo térmico (φ , em kcal/h ou Btu/h) é proporcional à área (A, em m² ou ft²), tipo de superfície (dado pela emissividade do corpo σ e pela constante de Boltzman ε , 5,669W/m² ou Btu/h.ft².K⁴) e à diferença de temperatura absoluta entre as superfícies, como mostra a Equação 3.8.

$$\varphi = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_2 - T_1)^4 \quad (3.8)$$

3.2.1.10.2 Convecção

É a transferência de energia térmica dentro de um fluido, através de uma ação de mistura, podendo ocorrer naturalmente por diferença de densidade ou pela ação de um agente externo, como um ventilador. Nesse caso, o fluxo térmico é expresso pela Equação 3.9, onde h é o coeficiente de película, expresso em Btu/h.ft².F ou kcal/h.m².°C.

$$\varphi = A \cdot h \cdot (T_1 - T_2) \quad (3.9)$$

3.2.1.10.3 Condução

É a transferência de energia entre as moléculas dentro de um corpo por contato físico. A condução dentro de um fluido ocorre concomitantemente com a transferência por convecção. A condução através de um corpo depende da sua área (A), de sua espessura (x), a diferença de temperatura (T₂-T₁) e da resistência térmica oferecida pelo material do qual o corpo é feito (r), isto é, da sua condutibilidade térmica (k). Deve-se contabilizar também o coeficiente de película (h) devido a transmissão por convecção.

3.2.3 Equipamentos de ar condicionado e seus rendimentos típicos

Conforme visto em 3.2.1.7, 3.2.1.8 e 3.2.1.9, o rendimento de um equipamento de ar condicionado pode ser expresso através de seu COP, EER ou em kW/TR. A Tabela 3.3 seguir mostra valores típicos de rendimento de equipamentos comercializados atualmente.

Tabela 3.3 – Valores típicos de rendimento de equipamentos de ar condicionado.

Capacidade (Btu/h)	Marca	Tipo	COP (W/W)	EER (Btu/h/W)
7.500	Consul	Janela		9,947
10.000	Consul	Janela		10,299
12.000	Springer	Portátil		8,276
9.000	Samsung	Split Inverter quente e frio	3,26	11,152
12.000	Samsung	Split Inverter quente e frio	3,23	11,132
18.000	Samsung	Split Inverter quente e frio	3,29	11,889
24.000	Samsung	Split Inverter quente e frio	3,23	11,268

3.2.3 Dimensionamento da refrigeração

Para se dimensionar um sistema de refrigeração, deve-se primeiramente saber se o ambiente tem insolação direta ou é cobertura. Neste caso, deve-se adicionar 800 Btu/h para cada m². Não tendo insolação direta e não sendo cobertura, para cada m² deve-se adicionar 600 Btu/h.

Após calcular a carga térmica relacionada à área do ambiente, deve-se considerar a quantidade de pessoas que utilizarão o espaço. Para cada pessoa, deve-se adicionar 600 Btu/h.

Finda a segunda etapa, deve-se considerar a quantidade de equipamentos eletrônicos que emitam calor, como computadores e geladeiras. De modo geral, associa-se 600 Btu/h para cada equipamento, mas esse valor pode ser modificado caso seja conhecida a verdadeira carga térmica do equipamento.

Por exemplo, um ambiente de 20 m² que não recebe insolação direta nem é cobertura, que será ocupado por 4 pessoas e contém 4 computadores, deverá ter um aparelho de ar condicionado de 16.800 Btu/h, como pode ser visto na Tabela 3.4. Como não há equipamento com essa capacidade disponível no mercado, escolhe-se um imediatamente acima, ou dois que, somados, forneçam essa refrigeração. A opção mais óbvia é por um aparelho de 18.000 Btu/h.

Tabela 3.4 – Cálculo da carga térmica de um ambiente.

Variável	Quantidade	Carga Térmica unitária (Btu/h)	Total
Área do ambiente sem insolação direta (m ²)	20	600	12.000
Pessoas no ambiente	4	600	2.400
Equipamentos eletrônicos	4	600	2.400
Total			16.800

3.2.4 Eficiência energética na refrigeração

Com as informações de 3.2.1.7, 3.2.1.8 e 3.2.1.9 e da Tabela 3.3, nota-se a importância da escolha de aparelhos mais modernos e mais eficientes para haver maior eficiência energética. Existem também muitas medidas a serem tomadas, que não necessariamente envolvem investimento, de modo a elevar a eficiência energética, tais como [16, 19]:

- Regular o termostato para uma temperatura que proporcione conforto;
- Limpar frequentemente os filtros;
- Manter fechadas as portas e janelas dos ambientes refrigerados;
- Utilizar iluminação eficiente, de modo que esta contribua pouco como carga térmica no ambiente;
- Desligar o sistema de refrigeração quando as pessoas se ausentarem por longo tempo.

3.3 Fator de potência

O fator de potência quantifica a parte útil da energia elétrica, sendo uma ferramenta para medir a eficiência energética de uma instalação, uma vez que esta pagará pela energia, sendo ela utilizada para realizar trabalho ou não [20]. Com o objetivo de otimizar o uso da energia elétrica gerada no país, o antigo DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica), hoje ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), através do Decreto N° 479 de 20 de Março de 1992, estabeleceu que o fator de potência mínimo deve ser de 0,92 [21].

3.3.1 Conceitos básicos

A maioria das cargas consomem energia reativa indutiva. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, necessitando tanto de potência ativa quanto de potência reativa.

3.3.1.1 Potência Ativa ou Potência Real

É a potência que realiza trabalho, gerando luz, calor, movimento. Sua unidade é o kW.

3.3.1.2 Potência Reativa

É a potência que apenas cria e mantém campos eletromagnéticos das cargas indutivas. Sua unidade é o kvar. A potência reativa não produz trabalho, porém circula

entre a carga e a fonte de alimentação, pesando no sistema elétrico e impedindo que este forneça mais potência ativa.

3.3.1.3 Potência Completa

É a potência obtida através do produto do fasor de tensão rms e o conjugado complexo do fasor de corrente rms. Sua parte real é a potência ativa e sua parte imaginária é a potência reativa. Sua unidade é o kVA [22].

O triângulo retângulo presente na Figura 3.5 é frequentemente utilizado para representar as relações entre potência ativa, potência reativa e potência completa, cujo módulo é expresso por potência aparente.

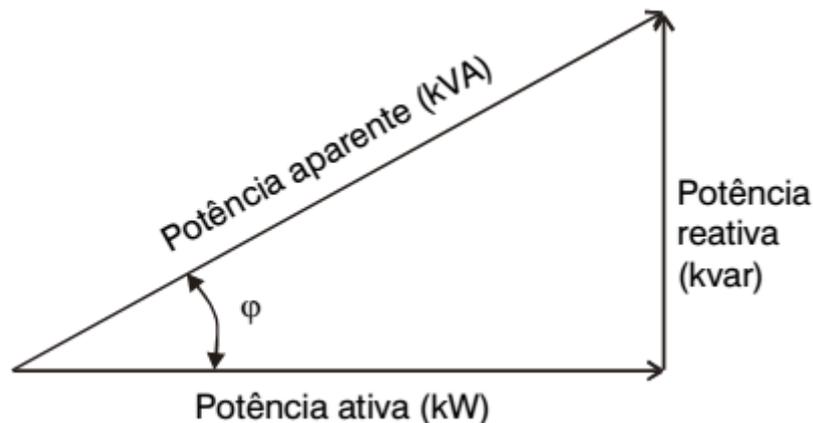


Figura 3.5 – Triângulo retângulo de potência [21].

3.3.1.4 Definição de fator de potência

Fator de potência é o cosseno da diferença de fase entre tensão e corrente, ou o cosseno do ângulo da impedância da carga [22]. Outro modo de definir o fator de potência é pela razão entre potência ativa e a potência aparente, que é o módulo da potência completa [21].

3.3.2 Causas mais comuns do baixo fator de potência

Várias são as causas que diminuem o fator de potência de uma instalação elétrica. Entre elas, podem-se destacar [20]:

- motores operando em vazio;

- motores e transformadores superdimensionados;
- elevada quantidade de motores de pequena potência;
- utilização de reatores de baixo fator de potência na iluminação com lâmpadas de descarga e
- superdimensionamento do banco de capacitores na correção do fator de potência.

3.3.3 Eficiência energética no fator de potência

Após analisar as causas do baixo fator de potência acima listadas e eliminar as que forem possíveis, o fator de potência ainda assim pode permanecer baixo. Para se melhorar a eficiência energética através do fator de potência, deve-se fazer a sua correção, com a instalação de capacitores [21], sem alterar a tensão ou corrente para a carga original [22]. A instalação dos capacitores pode ser feita por quatro diferentes maneiras, ou pela combinação delas [21]:

- na entrada da energia em alta tensão;
- na entrada da energia em baixa tensão;
- antes de um grupo de cargas e
- diretamente no equipamento que se pretende corrigir o fator de potência.

3.3.4 Vantagens da correção do fator de potência

A correção do fator de potência traz uma vantagem econômica, ao evitar que o consumidor seja multado por estar com um fator de potência inferior a 0,92, reduzindo assim o valor da conta de energia elétrica [20].

O sistema de distribuição de energia também se beneficia, ao ter sua capacidade elétrica liberada. A carga instalada poderá ser aumentada na instalação analisada ou em instalações vizinhas, sem sobrecarregar transformadores e os condutores da rede de distribuição.

O baixo fator de potência também afeta o nível médio de tensão da rede, e sua correção eleva ao nível desejado no projeto. Dessa maneira, motores funcionarão com a potência correta, o sistema de iluminação proverá o nível de iluminação adequado e motores e condutores não sofrerão aquecimento.

Ao reduzir a corrente elétrica, a correção do fator de potência também reduz as perdas de energia relacionadas ao efeito Joule, que eleva a temperatura dos condutores elétricos.

3.4 Sistemas de ar comprimido

Os sistemas de ar comprimido são utilizados como uma forma de transportar energia. Em algumas situações, substitui a eletricidade quando esta não pode ser utilizada, como no interior de minas e em trabalhos subaquáticos [7].

Na indústria, utiliza-se o ar comprimido em máquinas operatrizes, motores pneumáticos, equipamentos de movimentação e transporte de materiais, ferramentas manuais, sistemas de comando, controle, regulagem, instrumentação e na automação de processos. É utilizado também em aeroportos, portos, hospitais, obras civis, minerações, postos de combustível, equipamentos de climatização.

Uma vantagem do ar comprimido é que seu armazenamento e condução não necessitam isolamento térmico, como é o caso do vapor. Não há riscos de incêndio ou explosão, explicando-se assim o seu crescente uso. A principal desvantagem é o elevado consumo de energia elétrica, compensado pelas vantagens em determinadas situações.

3.4.1 Conceitos básicos

3.4.1.1 Rendimento dos compressores

Como expresso anteriormente, os sistemas de ar comprimido apresentam um elevado consumo de energia elétrica. Sendo assim, deve-se utilizar corretamente o ar

comprimido, operando os compressores de maneira eficiente e econômica, pois estes representam a maior parte do consumo de energia do sistema.

O rendimento global dos compressores é obtido a partir da relação entre potência útil, expressa em termos da vazão e da pressão, e potência utilizada pelo motor elétrico.

Para um cilindro pneumático se movendo com velocidade constante e exercendo uma força também constante, obtém-se a potência desenvolvida através do produto da força (F , em N) e da velocidade (v , em m/s), como expresso na Equação 3.10.

$$P = F \cdot v \quad (3.10)$$

Como força é igual a pressão (p , em Pa) vezes área (A , em m²), e a velocidade da haste do cilindro é igual a vazão (Q , em m³/s), pode-se expressar esses valores em função da área do pistão, como indicam as Equações 3.11, 3.12, 3.13.

$$F = p \cdot A \quad (3.11)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.12)$$

$$P = p \cdot Q \quad (3.13)$$

Assim, obtém-se a potência útil em um fluxo de ar comprimido.

Como a informação da potência elétrica do motor é sabida, calcula-se o rendimento pela Equação 3.14 abaixo.

$$\eta = \frac{P}{P_{motor}} \quad (3.14)$$

3.4.1.2 Compressão dos gases

A Equação dos Gases Perfeitos de Clapeyron, expressa na Equação 3.15, relaciona a pressão (P , em Pa), o volume específico (v , em m³/kg), a quantidade de moles de gás (N , adimensional), a constante particular do gás (R , em kJ/(kg.K)) e temperatura (T , em K).

$$P \cdot v = N \cdot R \cdot T \quad (3.15)$$

Uma compressão em que a temperatura do gás seja mantida constante é denominada compressão isotérmica. Nesse tipo de compressão, pode-se utilizar a relação expressa na Equação 3.16, onde p_1 e v_1 expressam respectivamente a pressão e o volume iniciais, e p_2 e v_2 expressam respectivamente a pressão e o volume finais.

$$p_1 \cdot v_1 = p_2 \cdot v_2 = N \cdot R \cdot T \quad (3.16)$$

Outra compressão possível é a compressão adiabática, quando não se permite as trocas de calor. O comportamento do gás passa a depender não só da pressão e do volume, como da relação entre os calores específicos (k) medidos em pressão e volume constantes, expressa nas Equações 3.17 e 3.18.

$$p_1 \cdot v_1^k = p_2 \cdot v_2^k = N \cdot R \cdot T \quad (3.17)$$

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad (3.18)$$

Como compressões isotérmicas e adiabáticas não são possíveis na prática, o que acontece na realidade é a compressão politrópica. O expoente sobre o volume recebe o nome de expoente da politrópica, e é maior que um e menor que a relação C_p/C_v . A Equação 3.19 mostra a nova relação.

$$p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n = const. \quad (3.19)$$

3.4.1.3 Trabalho teórico de compressão

O trabalho específico teórico realizado na compressão de um fluxo de gás é apresentado na Equação 3.20, relacionando o trabalho específico teórico (w , em kJ/kg), com a integral do produto do volume específico do gás (v , em m³/kg) pela pressão do gás (p , em Pa).

$$w = \int v \cdot dp \quad (3.20)$$

A Equação 3.21 mostra a resolução da integral para compressão isotérmica.

$$w = R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \quad (3.21)$$

A Equação 3.22 mostra a resolução da integral para compressão politrópica.

$$w = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (3.22)$$

Através das relações das Equações 3.21 e 3.22, conclui-se que o trabalho específico de compressão aumenta com o aumento do valor do expoente da politrópica.

3.4.1.4 Compressão em estágios

A compressão em estágios objetiva a redução da temperatura, de modo a diminuir o trabalho específico de compressão. A Equação 3.23 mostra o trabalho específico teórico para mais de um estágio, onde o número de estágios é representado pela letra s .

$$w = \frac{n}{n-1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\sqrt[s]{\frac{p_2}{p_1}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (3.23)$$

3.4.1.5 Potência real de compressão

A partir do trabalho específico teórico, a vazão mássica e os rendimentos apropriados, pode-se obter a potência real de compressão (\dot{W}_c , em kW) pela Equação 3.24, que relaciona a vazão mássica do gás (\dot{m} , em kg/s), trabalho específico teórico (w , em kJ/kg), rendimento termodinâmico (η_t), rendimento mecânico (η_{mec}) e rendimento elétrico (η_{ele}).

$$\dot{W}_c = \frac{\dot{m} \cdot w}{\eta_t \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_{ele}} \quad (3.24)$$

3.4.2 Eficiência energética em sistemas de ar comprimido

Alguns pontos que afetam diretamente os processos listados anteriormente apresentam oportunidades para melhorar a eficiência em sistemas de ar comprimido. Os tópicos a seguir sugerem medidas nesse sentido.

3.4.2.1 Diminuição da massa de ar

O consumo de energia é proporcional à vazão de ar, como expresso na Equação 3.24. Deve-se frequentemente tentar localizar e corrigir locais de vazamentos. Engates rápidos, válvulas e mangueiras são locais onde geralmente ocorrem os vazamentos.

3.4.2.2 Redução da temperatura de aspiração

As Equações 3.22 e 3.23 mostram como a temperatura de aspiração afeta o consumo de energia e a compressão. Pode-se utilizar dutos para captar o ar fora da sala de compressores, que provavelmente estará a uma temperatura menor.

3.4.2.3 Redução da pressão de operação

As Equações 3.22 e 3.23 também mostram o impacto da pressão de descarga do compressor no trabalho específico teórico da compressão.

3.4.2.4 Diminuição das perdas de carga

Perder carga significa ter que trabalhar com uma maior pressão no sistema de ar, aumentando assim o consumo de energia. Essas perdas estão relacionadas com o atrito do ar com as rugosidades das tubulações e conexões. Como a perda da carga é uma função inversa do diâmetro da tubulação elevado à quinta potência, aumentar o diâmetro representa uma diminuição considerável das perdas de carga.

3.4.2.5 Compressão em estágios

A comparação das Equações 3.22 e 3.23 mostra o benefício da compressão em estágios. Quanto maior a relação de pressão, maior a vantagem da utilização da compressão em estágios. A diminuição das temperaturas na compressão em estágios também acarreta no aumento da vida útil dos equipamentos.

3.4.2.6 Aproveitamento do calor rejeitado

Grande parte da energia utilizada na compressão se transforma em calor, que pode ser utilizado como fonte de energia para um processo de baixa temperatura, como

por exemplo, aquecimento de água até cerca de 90°C ou ar quente para estufas de secagem. Grandes empresas já montaram sistema para utilizar o calor rejeitado para aquecer a água dos chuveiros usada nos banheiros dos funcionários. Medidas como essa podem aumentar o rendimento global para cerca de 70% ou mais.

3.5 Eletrodomésticos

A eletricidade corresponde a 36,2% do consumo final energético no setor residencial brasileiro [10]. Desses 36,2%, grande parte se deve aos eletrodomésticos. A eficiência energética desses eletrodomésticos está intimamente relacionada ao seu tempo de fabricação, posto que os equipamentos mais novos são mais eficientes.

3.5.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

Um dos motivos para o aumento da eficiência energética nos eletrodomésticos mais modernos, além da óbvia evolução das tecnologias envolvidas, é o Programa Brasileiro de Etiquetagem, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O programa visa informar os consumidores sobre o desempenho dos produtos, sua eficiência energética, o ruído, de modo a influenciar a tomar decisões mais conscientes. A indústria, por sua vez, passa a se empenhar mais em fabricar produtos competitivos para o mercado [23].

A eficiência energética do produto é classificada da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), de modo que o consumidor entende facilmente que aquele produto com uma classificação mais próxima de A representará menor impacto ambiental e terá um menor custo de operação. A Figura 3.6 mostra uma etiqueta típica do PBE, com todas as explicações.

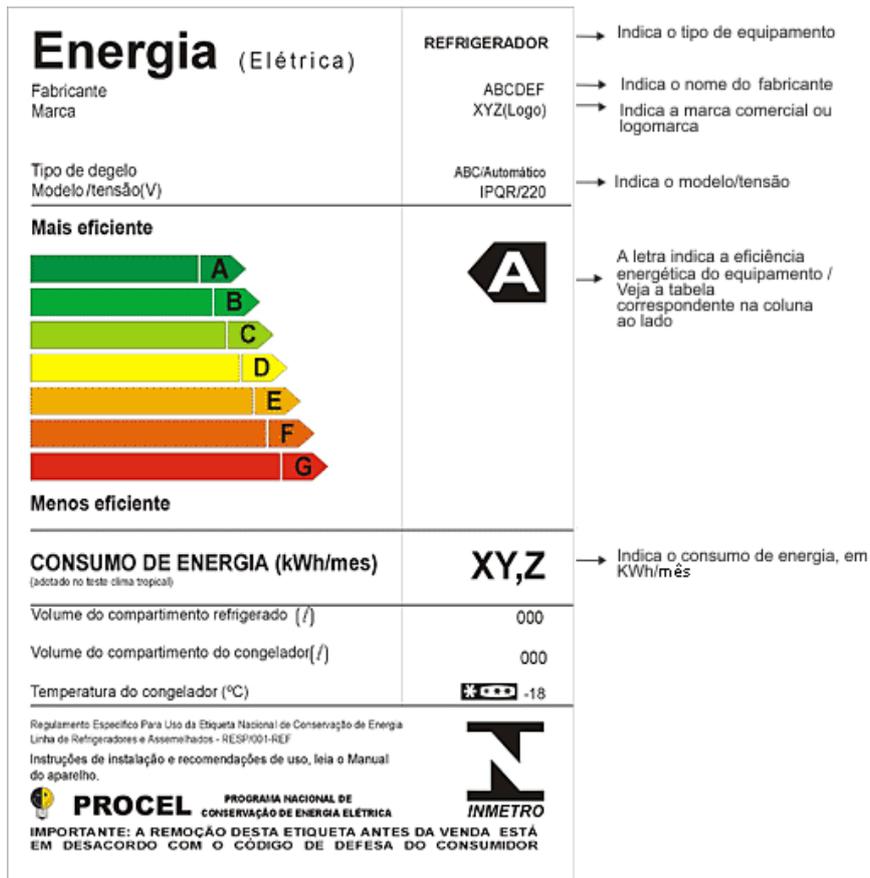


Figura 3.6 – Etiqueta do PBE [23].

3.5.2 Consumo médio mensal de eletrodomésticos

Para se calcular o consumo médio de energia, em kWh, deve-se utilizar a Equação 3.25, onde P é a potência do equipamento, h é o número de horas utilizadas por dia e d é o número de dias de uso ao mês [24].

$$CMM = \frac{P \times h \times d}{1.000} \quad (3.25)$$

Para calcular o custo associado a esse consumo, basta multiplicar o resultado pelo valor da tarifa cobrada pela concessionária local.

A Tabela 3.5 mostra alguns valores típicos de consumo médio mensal.

Tabela 3.5 – Valores típicos de consumo médio mensal.

Eletrrodoméstico	Horas diárias/dia	Dias de uso/mês	Consumo médio mensal (kWh)
Computador	8h	30	15,12
Geladeira 2 portas	24h	30	56,88
Lavadora de roupas	1h	12	1,76
TV LED 42”	5h	30	30,45

3.5.3 Eficiência energética em eletrodomésticos

Pelo exposto em 3.5.1, a maneira de se melhorar o rendimento associado aos eletrodomésticos é a decisão de se comprar produtos mais eficientes, certificados pelo PBE. Ao proceder dessa maneira, o consumidor força a indústria a ofertar produtos com maior eficiência energética. Para o consumidor isso se traduz como menor custo associado às contas de energia elétrica. Para o país representa a postergação da necessidade de criação de novas unidades geradoras de energia elétrica.

Além da utilização de eletrodomésticos mais eficientes, o uso consciente tem grande impacto no consumo de energia desses aparelhos. Por exemplo, uma geladeira que em sua etiqueta do PBE indica consumo mensal de 61 kWh, pode na verdade consumir apenas 42 kWh/mês, ou seja, 31,15% a menos. Essa alteração pode ser explicada pela quantidade de vezes que a geladeira é aberta durante o dia e pelo volume de objetos dentro da geladeira [25].

Capítulo 4 – Metodologias de projetos de eficiência energética

4.1 Método Sebrae

O Método Sebrae aborda medidas de substituição de motores, do sistema de iluminação e do sistema de refrigeração. É um método prático que relaciona a situação tarifária, o consumo de energia, o preço da energia e os investimentos necessários para se calcular as despesas mensais, a economia gerada e o tempo de retorno do investimento.

A principal vantagem desse método é a simplicidade de implementação, o que o torna mais acessível ao público em geral. Ele pode ser utilizado para análise tarifária, troca de motores, substituição do sistema de iluminação, substituição de aparelhos de ar condicionado e para implementação de novos hábitos quanto ao consumo de energia.

A Tabela 4.1 demonstra o método Sebrae.

Tabela 4.1 – Método Sebrae.

Situação	Atual	Executada
Tarifária	T1	T2
Consumo de energia	E1	E2
Preço da energia	P1(T1)	P2(T2)
Investimentos necessários		I
Despesas mensais	C1	C2
Economia mensal gerada		C2-C1
Tempo de retorno do investimento em meses		$I/(C2-C1)$

4.2 Método Salomão

O método proposto por Salomão (2010) se aplica em sistemas de iluminação e classifica os projetos em quatro tipos [26]:

- aquisição, quando se trata de uma instalação nova;
- reposição, quando tem que se determinar o momento ideal da substituição da iluminação;
- expansão, com problemas e soluções parecidos com o de aquisição inicial e
- retratação, quando se deseja identificar os equipamentos que devem ser desativados para minimizar prejuízos e/ou minimizar a redução de lucros futuros.

Dentro dessas classificações, os projetos são também segregados entre os sem fins lucrativos (ou com crédito não mensurável) e os com fins lucrativos.

Estudam-se, então, as características do projeto de iluminação, como atividade desenvolvida, refletância de piso/parede/teto, altura do plano de trabalho, entre outros requisitos da NBR 5413 [27].

Após definir o projeto de iluminação, tarifas envolvidas, custo da energia, custo ao longo da vida útil do projeto, chega-se ao montante total do projeto. Este deve ser comparado às alternativas para se avaliar a melhor decisão.

Esse método é bem completo, pois considera a vida útil dos equipamentos envolvidos e a energia consumida durante todo o tempo. A desvantagem é a dificuldade de se traçar todas as alternativas de projeto, o que o torna pouco prático. O ponto mais importante que poderá ser absorvido pela metodologia a ser utilizada no estudo de caso é a classificação primária do projeto, de modo a adequar o projeto de eficiência energética à filosofia desejada.

4.3 Método ANEEL

Este método foi proposto para regulamentar os investimentos das empresas concessionárias e permissionárias em programas de eficiência energética [28]. Ele traça diretrizes legais e técnicas, de modo a padronizar os investimentos brasileiros.

Treze tipos de projetos são tipificados, a saber: projetos educacionais, gestão energética, comércio e serviços, industrial, atendimento a comunidades de baixo poder aquisitivo, poder público, residencial, rural, serviço público, projetos pelo lado da oferta, projeto piloto, projeto prioritário e projeto cooperativo. São definidos então roteiros básicos para elaboração desses projetos, cada qual com suas particularidades. Será descrito aqui somente o método que se aplica a projetos residenciais/comerciais.

Devem-se descrever os objetivos, detalhando as etapas que promovam economia de energia. Nos sistemas de iluminação, refrigeração e motores, quantifica-se a potência instalada e a energia consumida no sistema atual, e compara-se com o sistema proposto.

A vantagem de se analisar um projeto de eficiência energética por esse método é definir prioridades para planos governamentais e estruturar o setor elétrico. Não se aplica facilmente a um projeto individual a ser implementado por uma empresa ou cidadão.

4.4 Metodologia a ser seguida no estudo de caso

A partir dos métodos estudados em 4.1, 4.2 e 4.3, decidiu-se por iniciar o projeto definindo-o pelo Método Salomão (aquisição, reposição, expansão ou retratação), para a partir daí se implementar o Método Sebrae, que fornecerá facilmente os resultados teóricos do projeto de eficiência energética. Como o projeto não prevê escolha de tarifa, pode-se simplificá-lo eliminando-se esse fator.

Capítulo 5 – Estudo de caso

A gráfica LS Relevografia possui equipamentos para confecção de projetos gráficos através de métodos tradicionais de impressão, a saber: tipografia convencional, estampa quente (*hot stamping*), *offset* (incluindo policromia 4 cores), relevo (americano, francês e seco) e serigrafia (*silk screen*). Essas técnicas são aplicadas com o intuito de produzir convites e cartões de alto luxo, motivo pelo qual o processo tradicional é valorizado frente à moderna impressão digital.

No dia 16 de Agosto de 2013, foi realizado o levantamento de cargas da gráfica LS Relevografia, situada na Rua Marques de Oliveira, número 459, no bairro Ramos, Zona Norte da capital fluminense. O levantamento completo de cargas está listado ao final deste trabalho, no Apêndice A.

O consumo de energia elétrica mensal da empresa varia entre 1.760 kWh (Janeiro de 2012) e 4.320 kWh (Setembro de 2011), com uma média mensal próxima a 3.500 kWh ao longo do ano.

A empresa já conta com um banco de capacitores instalados em baixa tensão para corrigir o fator de potência. Como não há sistemas de ar comprimido na empresa, as cargas foram separadas nas seguintes categorias: Iluminação incandescente, Iluminação fluorescente, Refrigeração AC (Ar Condicionado), Refrigeração VE (Ventilador e Exaustor), Equipamentos Elétricos da Produção (Maquinário), Cargas Elétricas de Escritório, TUG e Outros. A Tabela 5.1 mostra a divisão das cargas e a porcentagem que cada uma representa no total.

Tabela 5.1 – Classificação de cargas na empresa.

Classificação	Potência total	Porcentagem
Iluminação fluorescente	6.275 W	7,34%
Iluminação incandescente	660 W	0,77%
Refrigeração AC	9.972 W	11,66%
Refrigeração VE	834 W	0,98%
Equipamentos Elétricos da Produção	49.323,35 W	57,67%
Equipamentos de Escritório	2.706 W	3,16%
Outros	11.752,75 W	13,74%
TUG	4.000 W	4,68%
Total	85.523,10 W	100,0%

De posse desses dados, é possível aplicar a metodologia proposta em 4.4, para cada um dos fatores que influenciam a eficiência energética.

5.1 Eficiência na iluminação

Nota-se pelo levantamento de carga que a empresa dispõe de 150 lâmpadas fluorescentes de 40 W; 7 lâmpadas fluorescentes compactas de 25 W; 5 lâmpadas fluorescentes compactas de 20 W; 6 lâmpadas incandescentes de 100 W; e 1 lâmpada incandescente de 60 W. A potência totaliza 6.935 W. Considerando-se 8 horas de uso por dia, 20 dias úteis em um mês, a uma tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia atual é R\$ 473,63.

Tratando-se de um projeto de reposição, deve-se avaliar se vale a pena realizar a troca das lâmpadas. Em um primeiro cenário, será considerada a troca somente das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas.

No caso de substituir as 7 lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas de 25 W e manter a quantidade de pontos de iluminação, a potência total diminuiria para 6.450 W. Mantendo-se as considerações de 8 horas por dia, 20 dias úteis, tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia na situação executada é

R\$ 440,51. O custo dessas lâmpadas fluorescentes compactas de 25 W no mercado é de aproximadamente R\$ 12,00, o investimento necessário é de R\$ 84,00.

Tabela 5.2 – Substituição de iluminação por lâmpadas fluorescentes compactas.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	1,109,6 kWh	1.032 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 84,00	
Despesas mensais	R\$ 473,63	R\$ 440,51
Economia gerada	R\$ 33,12/mês	
Tempo de retorno do investimento	3 meses	

Outra opção de substituição no sistema de iluminação é optar por lâmpadas de LED. Para se manter os bocais já utilizados (G13 e E27) e não diminuir o fluxo luminoso, seriam necessárias 600 lâmpadas de LED de 9 W (soquete G13) e 19 lâmpadas de LED de 12 W (soquete E27). A potência total diminuiria para 5.628 W. Mantendo-se as considerações de 8 horas por dia, 20 dias úteis, tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia na situação executada é R\$ 384,37. O custo dessas lâmpadas de LED de 9 W no mercado é de aproximadamente R\$ 95,00 e das lâmpadas de LED de 12 W é de aproximadamente R\$ 180,00, sendo necessário um investimento de R\$ 60.420,00.

Tabela 5.3 – Substituição de iluminação por lâmpadas de LED.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	1.109,6 kWh	900,48 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 60.420,00	
Despesas mensais	R\$ 473,63	R\$ 384,37
Economia gerada	R\$ 89,26/mês	
Tempo de retorno do investimento	56 anos e 5 meses	

Devido ao elevado custo associado à substituição das lâmpadas fluorescentes de 40 W por lâmpadas de LED, uma terceira opção de substituição no sistema de iluminação seria manter as 150 lâmpadas fluorescentes de 40 W e trocar as outras 19 lâmpadas por lâmpadas de LED de 12 W. A potência total diminuiria para 6.228 W. Mantendo-se as considerações de 8 horas por dia, 20 dias úteis, tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia na situação executada é R\$ 425,35. O custo das lâmpadas de LED de 12 W é de aproximadamente R\$ 180,00, sendo necessário um investimento de R\$ 3.420,00.

Tabela 5.4 – Substituição parcial de iluminação por lâmpadas de LED.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	1.109,6 kWh	996,48 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 3.420,00	
Despesas mensais	R\$ 473,63	R\$ 425,35
Economia gerada	R\$ 48,28/mês	
Tempo de retorno do investimento	5 anos e 11 meses	

5.2 Eficiência na refrigeração

A empresa conta com 5 aparelhos de ar condicionado de janela, 3 ventiladores e 4 exaustores. Considerando-se a refrigeração, potência e potencial de melhoria da eficiência, os ventiladores e exaustores não serão avaliados.

Na situação atual, há um aparelho de 18.000 Btu/h que tem potência de 1.910 W, dois aparelhos de 12.000 Btu/h de 2.860 W e dois aparelhos de 7.500 Btu/h de 1.672 W e 670 W, totalizando uma potência de 9.972 W. Considerando-se 8 horas de uso por dia, 20 dias úteis em um mês, a uma tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia atual é R\$ 681,05.

Tratando-se de um projeto de reposição, deve-se avaliar se vale a pena realizar a troca dos aparelhos de ar condicionado, substituindo-os por aparelhos mais modernos, tipo split inverter. O aparelho de 18.000 Btu/h (1.910W) seria substituído pelo modelo Inverter 18000 da Samsung, de 1.514 W. Os dois aparelhos de 12.000 Btu/h (2.860 W) seriam substituídos pelo modelo Inverter 12000 da Samsung, de 1.078 W. E os dois aparelhos de 7.500 Btu/h (1.672 W e 670 W) seriam substituídos pelo modelo Inverter 9000 da Samsung, de 807 W. A potência total diminuiria para 5.284 W. Mantendo-se as considerações de 8 horas por dia, 20 dias úteis, tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia na situação executada é R\$ 360,88. O investimento necessário para a compra desses aparelhos é de R\$ 2.500,00 para o aparelho de 18.000 Btu/h, R\$ 1.900,00 para cada aparelho de 12.000 Btu/h e R\$ 1.500,00 para cada aparelho de 9.000 Btu/h, totalizando um investimento de R\$ 9.300,00. A Tabela 5.5 mostra as contas.

Tabela 5.5 – Substituição de refrigeração por aparelhos split inverter.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	1.595,52 kWh	845,44 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 9.300,00	
Despesas mensais	R\$ 681,05	R\$ 360,88
Economia gerada	R\$ 320,17/mês	
Tempo de retorno do investimento	2 anos e 5 meses	

Outra opção de substituição no sistema de refrigeração seria optar por aparelhos de ar condicionado tipo split tradicionais, com o intuito de diminuir os investimentos necessários. O aparelho de 18.000 Btu/h (1.910W) seria substituído pelo modelo Max Plus 18000 da Samsung, de 1.750 W. Os dois aparelhos de 12.000 Btu/h (2.860 W) seriam substituídos pelo modelo Max Plus 12000 da Samsung, de 1.122 W. E os dois aparelhos de 7.500 Btu/h (1.672 W e 670 W) seriam substituídos pelo modelo Max Plus

9000 da Samsung, de 819 W. A potência total diminuiria para 5.632 W. Mantendo-se as considerações de 8 horas por dia, 20 dias úteis, tarifa de R\$ 0,42685/kWh, o consumo mensal de energia na situação executada é R\$ 384,64. O investimento necessário para a compra desses aparelhos é de R\$ 1.900,00 para o aparelho de 18.000 Btu/h, R\$ 1.400,00 para cada aparelho de 12.000 Btu/h e R\$ 1.200,00 para cada aparelho de 9.000 Btu/h, totalizando um investimento de R\$ 7.100,00. A Tabela 5.6 mostra as contas.

Tabela 5.6 – Substituição de refrigeração por aparelhos split tradicionais.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	1.595,52 kWh	901,12 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 7.100,00	
Despesas mensais	R\$ 681,05	R\$ 384,64
Economia gerada	R\$ 296,41/mês	
Tempo de retorno do investimento	2 anos	

5.3 Eficiência no fator de potência

O fator de potência da instalação elétrica já é corrigido por um banco de capacitores instalado na entrada do prédio.

Caso não fosse corrigido, deveria se calcular a soma das potências reativas de todas as máquinas da gráfica. Como essas são indutivas, a compensação seria feita com um banco de capacitores de igual potência reativa, porém, evidentemente, capacitiva. O banco de capacitores deve ter chaveamento automático, para se evitar uma supercorreção, que também diminuiria o fator de potência.

5.4 Eficiência em sistemas de ar comprimido

A empresa não conta com sistemas de ar comprimido, de modo que este tópico não será analisado.

5.5 Eficiência em eletrodomésticos

Os poucos eletrodomésticos presentes na instalação elétrica são novos, recebendo a classificação "A", conforme etiqueta do PROCEL. Dessa maneira, não há necessidade de se trocar esses equipamentos por outros mais modernos e mais eficientes.

Porém, caso fosse necessário trocá-los, deveria se levantar as mesmas informações, como nos casos anteriores, como consumo de energia mensal, investimentos necessários, despesas mensais, economia gerada por mês e o tempo de retorno do investimento.

5.6 Resultados e análises

Quanto à iluminação, três casos foram analisados. Primeiramente, obteve-se na situação executada um consumo de energia de 1.032 kWh, o que representou uma diminuição de 6,99%. Com um investimento necessário de R\$ 84,00, o tempo de retorno do investimento é de 3 meses. Esta opção reduz pouco o consumo de energia, porém por ser de baixo custo associado, deveria ser realizada o quanto antes.

No segundo caso da iluminação, obteve-se na situação executada um consumo de energia de 900,48 kWh, o que representou uma diminuição de 18,85%. Com um investimento necessário de R\$ 60.420,00, o tempo de retorno do investimento é de 56 anos e 5 meses. Esta opção reduz consideravelmente o consumo de energia, porém tem um elevado custo associado, que não seria aceita pela maioria dos consumidores, não sendo uma opção válida.

Já no terceiro caso da iluminação, obteve-se na situação executada um consumo de energia de 996,48 kWh, o que representou uma diminuição de 10,19%. Com um investimento necessário de R\$ 3.420,00, o tempo de retorno do investimento é de 5 anos e 11 meses. Esta opção reduz consideravelmente o consumo de energia, com um custo

de implementação mais realista, podendo ser realizada caso a empresa queira iniciar a migração para uma tecnologia de iluminação mais moderna e mais eficiente.

Quanto à refrigeração, dois casos foram analisados. Primeiramente, na substituição de refrigeração por aparelhos split inverter, obteve-se na situação executada um consumo de energia de 845,44 kWh, o que representou uma diminuição de 47,01%. Com um investimento necessário de R\$ 9.300,00, o tempo de retorno do investimento é de 2 anos e 5 meses. Esta opção reduz bastante o consumo de energia, além de ter um custo de investimento baixo considerando o preço dos sistemas de refrigeração. Por isso, deveria ser realizada o quanto antes.

No segundo caso, optou-se por aparelhos tipo split tradicionais, para um menor investimento necessário. Obteve-se na situação executada um consumo de energia de 901,12 kWh, o que representou uma diminuição de 43,52%. Com um investimento necessário de R\$ 7.100,00, o tempo de retorno do investimento é de 2 anos. Esta opção não reduz o consumo de energia tanto quanto o primeiro caso, mas ainda reduz bastante, além de ter um custo de investimento 24% menor. Torna-se, assim, uma opção muito interessante caso a empresa não possa investir o montante necessário para a implementação do primeiro caso.

Após analisar as opções de eficiência energética para os diferentes fatores e escolhendo aqueles que propiciam maior economia com menor tempo de retorno de investimento, tem-se o caso geral expresso na Tabela 5.7. Para a iluminação, o caso escolhido foi o segundo. Para a refrigeração, escolheu-se o primeiro caso.

Tabela 5.7 – Caso geral.

Situação	Atual	Executada
Consumo de energia	2.705,12 kWh	1.841,92 kWh
Preço da energia	R\$ 0,42685/kWh	R\$ 0,42685/kWh
Investimentos necessários	R\$ 12.720,00	
Despesas mensais	R\$ 1.154,68	R\$ 786,23
Economia gerada	R\$ 368,45/mês	
Tempo de retorno do investimento	2 anos e 11 meses	

Capítulo 6 – Conclusão

O presente trabalho mostrou a importância de se estudar a eficiência energética, elevando seus rendimentos, e como isso pode contribuir para que o setor elétrico atenda a demanda energética sem necessariamente aumentar a geração de energia elétrica.

Para realizar o presente trabalho, revisou-se a bibliografia existente acerca da teoria de iluminação, refrigeração, fator de potência, sistemas de ar comprimido e eletrodomésticos, buscando-se elementos que pudessem contribuir para o aumento da eficiência energética em uma instalação residencial ou comercial. Estudaram-se também metodologias de projetos de eficiência energética, propondo-se um método que utilizasse conceitos importantes e ao mesmo tempo simples e práticos para o estudo de caso.

Os resultados obtidos no estudo de caso mostram, para a iluminação, que substituir as lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas proporciona uma redução no gasto com energia elétrica de modo que o tempo de retorno de investimento com a compra das lâmpadas novas é de 3 meses, de acordo com a Tabela 5.2. Já para implementação de lâmpadas de LED, o resultado não foi tão satisfatório. A Tabela 5.3 mostra que demoraria 56 anos e 5 meses para o retorno do investimento necessário para a troca. Como grande parte do investimento necessário estava associada às lâmpadas tubulares de LED de 9 W, simulou-se uma substituição parcial na iluminação por LED, mantendo-se as lâmpadas fluorescentes de 40 W e substituindo-se somente as demais lâmpadas. A Tabela 5.4 mostra que demoraria 5 anos e 11 meses para o retorno do investimento necessário para a troca. Evidentemente que essas lâmpadas de LED estão há pouco tempo no mercado, e a tendência é que elas passem a ter mais fluxo luminoso e diminuam seu custo, conforme for surgindo

demanda. O crescente preço da energia elétrica também é um fator que diminuirá o tempo de retorno do investimento, tornando mais atraente para os consumidores a troca por uma iluminação de maior eficiência energética.

Quanto aos resultados obtidos para a refrigeração, no primeiro caso, no qual se substituem os aparelhos de ar condicionado por aparelhos split tipo inverter, pode ser interessante para a empresa o investimento na modernização do sistema de refrigeração, conforme mostra a Tabela 5.5, considerando o aumento do conforto térmico de seus funcionários e que o tempo de retorno do investimento ficou em 2 anos e 5 meses, não sendo tão grande assim. O segundo caso avaliou a modernização do sistema de refrigeração pela utilização de aparelhos tipo split tradicionais, com um investimento necessário 24% menor que o caso anterior. Os resultados obtidos, presentes na Tabela 5.6, mostram que esse caso também é interessante para a empresa, pois o tempo de retorno do investimento é de 2 anos.

O caso geral, presente na Tabela 5.7, mostrou que a elevada economia obtida através do sistema de refrigeração pode ser investida na troca da iluminação por LED, diminuindo consideravelmente o tempo de retorno do investimento.

6.1 Sugestões de trabalhos futuros

Trabalhos futuros podem abordar melhor dois tópicos que não couberam na discussão desse projeto, a saber: equipamentos elétricos e conscientização do uso da energia.

Foi abordada a questão do aumento da eficiência energética dos equipamentos elétricos quando da modernização ou sucateamentos dos equipamentos já existentes, mas é possível estudar e analisar quais aspectos construtivos e teóricos dos equipamentos impactam em sua eficiência energética.

Quanto à conscientização do uso da energia, propõem-se entender melhor quais variáveis são atualmente abordadas pelas campanhas de educação do governo e como medidas práticas podem afetar diretamente o aumento da eficiência do uso da energia elétrica.

Referências Bibliográficas

[1] PROCEL (1), *Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissa e Diretrizes Básicas*, Brasília, DF, Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2013, 21:36:00.

[2] US DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*, Washington, DC, EUA, 2013. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>>. Acesso em 05 fev. 2014, 15:30:00.

[3] EMBAIXADA DA REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA, *Energias Renováveis e Eficiência Energética*, Brasília, DF, Brasil, 2013. Disponível em: <http://www.brasil.diplo.de/contentblob/2715424/Daten/3343286/Folha_5_Energias_Renovaveis.pdf>. Acesso em 05 fev. 2014, 15:45:00.

[4] PASTERNAK, A.D., *Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis*, Springfield, VA, EUA: U.S. Department of Commerce: 2000. Disponível em: <<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2014, 14:30:00.

[5] BAJAY, S. V., *Oportunidades de eficiência energética para a indústria: experiências internacionais em eficiência energética para a indústria*, Brasília, DF, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.cni.org.br/portal/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=FF8080812C8533A0012C988A67675A74>>. Acesso em 02 dez. 2013, 23:44:00.

[6] PROCEL (2), *Programas: Procel*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

Disponível em:

<<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>. Acesso em 20 nov. 2013, 15:20:00.

[7] MARQUES, M. C. S., HADDAD, J., GUARDIA, E. C., *et al.*, *Eficiência energética: teoria e prática*, Itajubá, MG, Brasil: FUPAI, 2007.

[8] NATURESA, J.S., *Eficiência Energética, Política Industrial e Inovação Tecnológica*, Campinas, SP, Brasil, 2011. Disponível em:

<www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000795336>. Acesso em 06 fev. 2014, 21:50:00.

[9] VENTURINI, O. J., PIRANI, M. J., *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Eletrobras, 2005.

[10] EPE (1), *Nota técnica DEA 14/10: Avaliação da Eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em 06 dez. 2013, 02:05:00.

[11] EPE (2), *Nota técnica DEA 16/12: Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021)*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2012. Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf>. Acesso em 06 dez. 2013, 02:13:00.

[12] INEE, *O que é eficiência energética?*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

Disponível em:

<http://www.inee.org.br/eficiencia_o_que_eh.asp?Cat=eficiencia>. Acesso em 25 fev. 2014, 02:20:00.

[13] NISKIER, J., MACINTYRE, A. J., *Instalações elétricas*, 5ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC, 2011.

[14] ASSUNÇÃO, M. O., *Efeitos térmicos em fotodiodos de pontos quânticos semicondutores*, Uberlândia, MG, Brasil: UFU, 2012. Disponível em: <http://www.bdtd.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4437>. Acesso em 03 dez. 2013, 23:43:00.

[15] TEIXEIRA, K. C., *Estudo das propriedades eletroluminescentes de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio utilizados em OLEDs*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: PUC-Rio, 2010. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0721252_10_Indice.html>. Acesso em 03 dez.2013, 23:56:00.

[16] GROVA, I. R., *Síntese e Caracterização Estrutural e Eletro-óptica do Poli(9,9'-n-di-hexil-2,7-fluorenodilvinileno-alt-2,5-tiofeno)*, Curitiba, PR, Brasil: UFPR, 2007. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/130.pdf>>. Acesso em 04 dez. 2013, 00:18:00.

[17] COPEL, *Dicas de eficiência energética*, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F2821db171aad77db032573fb005d4b41>>. Acesso em 21 fev. 2014, 04:45:00.

[18] PROCEL (3), *Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração*, Brasília, DF, Brasil, 2002. Disponível em: <http://www.cqgp.sp.gov.br/gt_licitacoes/publicacoes/procel%20predio_pub_manual_ar_condicionado.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2014, 21:50:00.

[19] SANTIAGO JUNIOR, J.V., *Uso inteligente de energia – Cartilha 5 – Estudos de Casos*, Cuiabá, MT, Brasil: Sebrae, 2003. Disponível em: <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/BCCBF7C3F163543703256FD30068C340/\\$File/NT000313FA.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/BCCBF7C3F163543703256FD30068C340/$File/NT000313FA.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2014, 03:45:00.

[20] SANTIAGO JUNIOR, J.V., *Uso inteligente de energia – Cartilha 2 – Conceitos básicos*, Cuiabá, MT, Brasil: Sebrae, 2003. Disponível em: <[http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/B7AED0CB292D9E9403256FD30065B1C5/\\$File/NT000313EA.pdf](http://bis.sebrae.com.br/GestorRepositorio/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/B7AED0CB292D9E9403256FD30065B1C5/$File/NT000313EA.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2014, 03:00:00.

[21] WEG, *Manual para Correção do Fator de Potência*, Jaraguá do Sul, SC, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014, 00:30:00.

[22] SADIKU, M. N. O., ALEXANDER, C. K., *Fundamentos de Circuitos Elétricos*, 3ª Edição, São Paulo, SP, Brasil: McGraw-Hill, 2008.

[23] INMETRO, *Programa Brasileiro de Etiquetagem*, Brasília, DF, Brasil, 2012. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em 21 fev. 2014, 08:30:00.

[24] PROCEL (4), *Dicas de Economia de Energia*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7bE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7d>>. Acesso em 21 fev. 2014, 08:50:00.

[25] LAMBERTS, R, *et al.*, *Casa eficiente: consumo e geração de energia*, Florianópolis, SC, Brasil: UFSC/LabEEE, 2010.

[26] SALOMÃO, T.M., *Eficiência Energética: Projetos luminotécnicos em plantas industriais*, São Paulo, SP, Brasil: USP, 2010. Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Pesquisa/Dissertacao_Thais_Mazioti_Salomao.pdf>. Acesso em 21 fev. 2014, 06:50:00.

[27] ANÔNIMO, *NBR 5413:1992 - Iluminância de interiores*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: ABNT, 1992.

[28] ANEEL, *Manual do programa de eficiência energética*, Brasília, DF, Brasil: ANEEL, 2008. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/Documento%20Aneel%202008.pdf>. Acesso em 21 fev. 2014, 07:00:00.

[29] OSRAM, *Manual Luminotécnico Prático*, Osasco, SP, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2014, 15:00:00.

[30] WIKIMEDIA COMMONS, *Illustration of color temperature (1000 to 16000 K)*, 2008. Disponível em: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Color_temperature_sRGB.svg?uselang=pt-br>. Acesso em 16 mar. 2014, 15:10:00.

Apêndice A - Levantamento completo de carga e contas de luz

Este apêndice contém o levantamento de carga da gráfica e as informações cedidas pela empresa sobre suas contas de luz de Junho de 2011 a Junho de 2013.

A.1 Levantamento de carga

O levantamento de carga informa as quantidades de cada carga, sua descrição, classificação, tensão e potência. As cargas foram classificadas como:

- Iluminação fluorescente (IF);
- Iluminação incandescente (II);
- Refrigeração por aparelhos de ar condicionado (RAC);
- Refrigeração por ventiladores e exaustores (RVE);
- Equipamentos elétricos da produção (EEP);
- Cargas elétricas escritório (CEE);
- Outros, e
- Tomadas de uso geral (TUG).

A Tabela A.1 apresenta os dados organizados conforme explicado.

Tabela A.1 – Levantamento de carga da empresa.

Quantidade	Descrição	Classificação	Tensão	Potência
150	Lâmpada fluorescente	IF	127 V	40 W
7	Lâmpada fluorescente compacta	IF	127 V	25 W
5	Lâmpada fluorescente compacta	IF	127 V	20 W
6	Lâmpada incandescente	II	127 V	100 W
1	Lâmpada incandescente	II	127 V	60 W
1	Ar Condicionado de Janela 18.000 Btu/h Consul	RAC	220 V	1.910 W
2	Ar Condicionado de Janela 12.000 Btu/h Consul	RAC	220 V	2.860 W
1	Ar Condicionado de Janela 7.500 Btu/h Consul	RAC	220 V	1.672 W
1	Ar Condicionado de Janela 7.500 Btu/h Springer	RAC	220 V	670 W
2	Ventilador	RVE	127 V	127 W
1	Ventilador	RVE	127 V	60 W
4	Exaustor Lorensid	RVE	127 V	130 W
2	Motor Silk 1 e 3	EEP	127 V	367,75W
1	Motor Silk 2	EEP	127 V	372,85W
3	Máquinas 1, 2 e 3	EEP	127 V	2.540 W
3	Máquinas 4, 5 e 6	EEP	380 V	6 kW
1	Máquina 7	EEP	220 V	2,2 kW
3	Máquinas 8, 9 e 10	EEP	220 V	1,1 kW
2	Máquinas 11 e 12	EEP	220 V	2,9 kW
1	Máquina 13 – 2 motores	EEP	220 V	2.942 W
1	Máquina 14	EEP	220 V	1.471 W
1	Máquina de furar 1	EEP	220 V	559,3 W
1	Máquina de furar 2	EEP	220 V	550 W
1	Máquina de furar 3	EEP	220 V	242,7 W
1	Máquina acabamento 1	EEP	220 V	2,86 kW
1	Máquina acabamento 2	EEP	220 V	2,67 kW
11	Computador Desktop e Monitor	CEE	127 V	240 W
2	Multifuncional	CEE	127 V	20 W

1	Multifuncional	CEE	127 V	10 W
1	Roteador com fio	CEE	127 V	6 W
2	Roteador com fio	CEE	127 V	5 W
2	Geladeira	Outros	127 V	98 W
2	Bebedouro Tipo Coluna	Outros	127 V	154 W
1	Bebedouro 20 L	Outros	127 V	70 W
1	Chuveiro Elétrico Lorenzetti	Outros	127 V	4.400 W
1	Aquecedor	Outros	220 V	3.500 W
1	Forno Elétrico	Outros	127 V	1.000 W
1	Cafeteira	Outros	127 V	1.000 W
1	Cafeteira	Outros	127 V	550 W
3	Rádio Relógio	Outros	127 V	2 W
1	Bomba d'água	Outros	127 V	367,75 W
1	TV	Outros	127 V	105 W
1	Som microsystem	Outros	127 V	250 W
40	TUG	TUG	127 V	100 W

A.2 Contas de luz

A Tabela A.2 apresenta os dados das contas de luz de Junho de 2011 a Junho de 2013.

Tabela A.2 – Contas de luz – Junho de 2011 a Junho de 2013.

Mês	Consumo	Valor
Junho/2011	2.800 kWh	
Julho/2011	3.120 kWh	
Agosto/2011	3.280 kWh	
Setembro/2011	4.320 kWh	
Outubro/2011	3.120 kWh	
Novembro/2011	3.280 kWh	
Dezembro/2011	3.520 kWh	
Janeiro/2012	1.760 kWh	
Fevereiro/2012	4.000 kWh	
Março/2012	3.280 kWh	
Abril/2012	3.640 kWh	
Maio/2012	3.280 kWh	
Junho/2012	3.120 kWh	R\$ 1508,09
Julho/2012	3.520 kWh	R\$ 1.647,18
Agosto/2012	3.280 kWh	R\$ 1.581,10
Setembro/2012	3.440 kWh	R\$ 1.676,63
Outubro/2012	3.600 kWh	R\$ 1.726,64
Novembro/2012	3.760 kWh	R\$ 1.846,84
Dezembro/2012	3.840 kWh	R\$ 2.048,58
Janeiro/2013	2.480 kWh	R\$ 1.309,89
Fevereiro/2013	3.120 kWh	R\$ 1.458,36
Março/2013	2.960 kWh	R\$ 1.270,75
Abril/2013	3.120 kWh	R\$ 1.375,79
Maio/2013	3.520 kWh	R\$ 1.478,71
Junho/2013	3.280 kWh	R\$ 1435,82

A seguir podem-se melhor visualizar esses dados na Figura A.1.

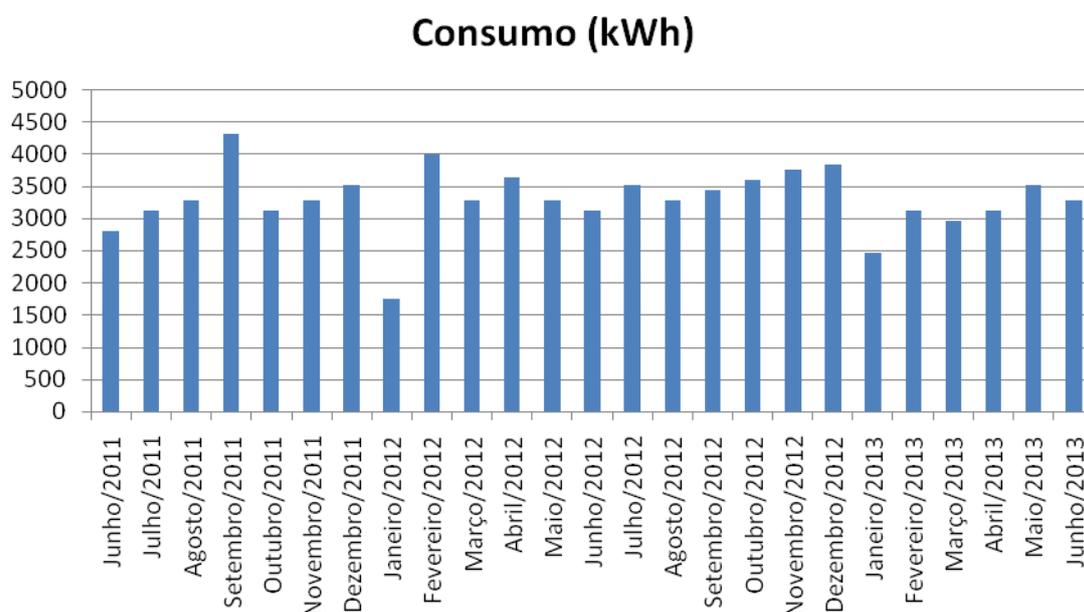


Figura A.1 – Consumo de energia elétrica de Junho de 2012 a Junho de 2013.

Na Figura A.2, pode-se visualizar o custo das contas de Junho de 2012 a Junho de 2013.

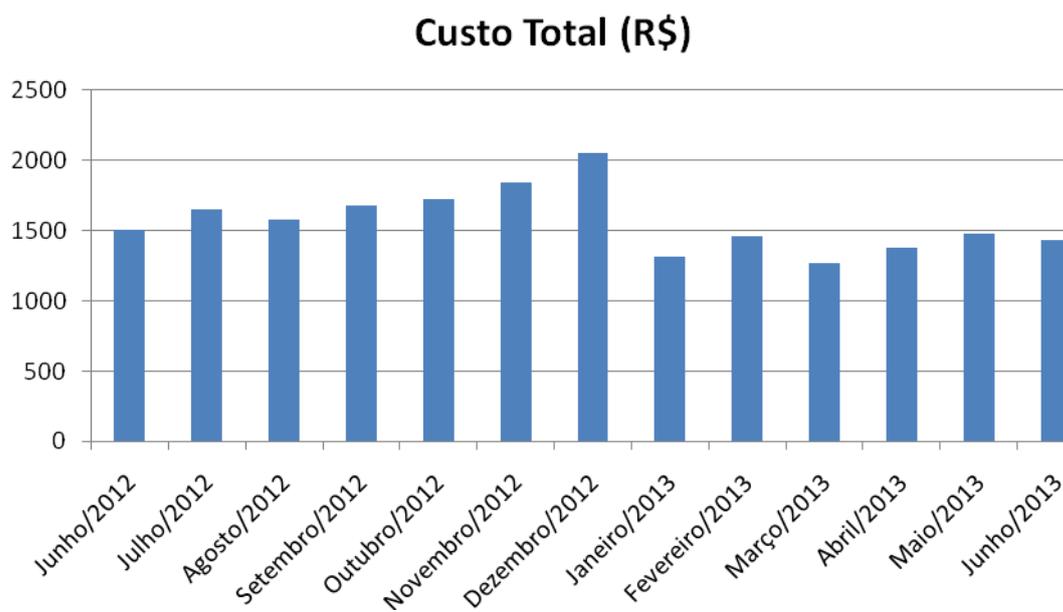


Figura A.2 – Custo com energia elétrica de Junho de 2012 a Junho de 2013.