

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALEXANDRE LEITE RIBEIRO NUNES

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre
2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALEXANDRE LEITE RIBEIRO NUNES

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, Brasil.

Prof. Dr. Walter Fetter Lages, UFRGS

Doutor pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos, Brasil

Porto Alegre, Dezembro de 2010.

DEDICATÓRIA

À minha estimada avó que, em outro plano, faz tudo dar certo em minha vida, menos a
imensa saudade: Geny.

À minha mãe Valquiria,
Que, sozinha, me criou, educou e servirá como exemplo de perseverança para sempre.

À minha esposa, amiga e confidente Pâmela.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro pela orientação à realização deste trabalho conciliando a perícia da visão do conjunto e o rigor no detalhe.

Aos demais membros da banca, a atenção e o desvelo.

À minha amada esposa Pâmela, pelo apoio, dedicação e compreensão da privação do convívio do marido.

À toda família Abreu que me acolheu com amizade e carinho.

Aos amigos de todas as falanges de convívio, pois sem eles minha vida seria triste.

Aos colegas pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso.

Ao meu pai Assis.

À Universidade, professores e funcionários.

Aos cidadãos brasileiros que financiaram meu curso de graduação.

RESUMO

O presente projeto tem como objetivo realizar a análise do mercado potencial de eficiência energética em prédios públicos. Para tanto, foram analisados os sistemas de iluminação, climatização e o contrato de fornecimento de energia elétrica de um prédio público federal na cidade de Porto Alegre/RS. Através da análise das faturas de energia elétrica e da memória de massa foi possível detalhar o funcionamento mensal da unidade consumidora em estudo, as horas de funcionamento dos equipamentos, estimar os consumos e as demandas de ponta e fora de ponta. Então, foram realizadas simulações objetivando propostas para redução do uso de energia elétrica e racionalização do consumo. Este estudo também deseja servir de base para a análise de outros prédios públicos e comerciais que necessitem de efficientização de energia.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Eficiência Energética. Conservação de Energia em Prédios Públicos. Qualidade de Energia. Análise Tarifária.

ABSTRACT

This project aims to realize an analysis of the potential market in energetic efficiency in public buildings. To this purpose, we have analyzed lighting systems, climate control systems and as well as the power supply contract in a federal public building in Porto Alegre/RS. Through the analysis of the electricity bills and mass memory it was possible to describe in detail the monthly functioning of the unit in question: the amount of functioning hours of the equipments, estimate consumption and power demands of peak and off peak. Subsequently it was possible to simulate alternatives to decrease power consumption and rationalize the use of electricity. This study also wishes to contribute to future projects and power efficiency programs in both public and commercial buildings.

Keywords: Electrical Engineering. Energy Efficiency. Energy Conservation in Public Buildings. Power Quality. Electric Cost Analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.1. Conceito	17
2.2. Histórico	19
2.3. Estrutura Organizacional	23
2.4. Estudos de longo prazo	27
2.5. Programa de Eficiência Energética – PEE	30
2.5.1. Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética	33
2.5.2. Plano Nacional de Eficiência Energética	36
2.6. <i>Energy Service Companies</i> – ESCOs	41
2.6.1. Contratos de Desempenho	43
2.6.2. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia – ABESCO	45
2.6.3. Apoio a Projetos de Eficiência Energética – PROESCO	45
2.7. ISO 50.001 Norma Internacional de gestão de Energia	46
3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS	48
3.1. Consumo de Energia Elétrica no Brasil	48
3.2. Distribuição dos Prédios Públicos Federais	50
3.3. Mercado em potencial	52
3.4. PROCEL EPP	56
3.5. PROCEL EDIFICA	57
3.5.1. Etiquetagem de EEE	58
3.6. Programa de Energia Inteligente (<i>Intelligent Energy Programme – IEP</i>)	60
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	61
4.1. Luminotécnica	61
4.1.1. Conceitos Básicos	61
4.1.2. Conceitos e Grandezas Fundamentais	63
4.1.3. Características das lâmpadas e acessórios	67
4.1.4. Fatores de Desempenho	70
4.1.5. Cálculo Luminotécnico	71
4.2. Análise Tarifária	77
4.2.1. Conceitos básicos	77
4.2.2. Aspectos tarifários	83
4.2.3. Modalidade Tarifária	84
4.2.4. Energia e Demanda Reativas	86
4.2.5. Encargos e tributos	87
4.2.6. Fator de Carga – FC	88
4.3. Correção do Fator de Potência	89
4.4. Climatização de ambientes	91

4.4.1. Conceitos básicos.....	93
4.4.2. Carga Térmica.....	95
5. ESTUDO DE CASO	97
5.1. Principais características do prédio e do seu sistema elétrico	97
5.1.1. Sistema elétrico de alimentação	99
5.2. Levantamento de carga no prédio	100
5.3. Iluminação	102
5.3.1. Lâmpadas e luminárias	103
5.3.2. Medidas de nível de iluminação e Proposta de Iluminação	104
5.3.3. Análise dos Resultados.....	107
5.4. Climatização de ambientes.....	109
5.4.1. Sistema de ar condicionado atual e proposta de cálculo de carga térmica	111
5.4.2. Análise dos Resultados.....	111
5.5. Análise Tarifária	114
5.5.1. Enquadramento Tarifário	116
5.5.2. Análise dos Resultados.....	119
5.6. Correção do Fator de Potência	120
5.6.1. Energia Reativa	120
5.6.2. Simulações para ajuste do Fator de Potência	121
5.6.3. Análise dos resultados.....	122
6. VIABILIDADE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS PARA EFICIÊNCIA	
ENERGÉTICA	124
7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	127
REFERÊNCIAS	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - A Cadeia do Uso da Energia	17
FIGURA 2 - Modelo Institucional	23
FIGURA 3 - Agentes Institucionais do Setor Elétrico	25
FIGURA 4 - Alternativas para atendimento da demanda.....	26
FIGURA 5 - Projeção do consumo final de energia elétrica.....	27
FIGURA 6 – Processo de Planejamento do Setor Elétrico	28
FIGURA 7 – Esquema do Modelo Integrado de Planejamento Energético	29
FIGURA 8 – Leilões de compra no Ambiente de Contratação Regulada.....	30
FIGURA 9 – Alteração de cotas de investimentos de PEE.....	30
FIGURA 10 – Etapas de Execução dos Projetos.....	34
FIGURA 11 – Etapas de realização do projeto e avaliação	36
FIGURA 12 – Relação de custos e proventos entre ESCOs e contratantes	44
FIGURA 13 - Estrutura de oferta de eletricidade (%).....	49
FIGURA 14 – Consumo de Energia Elétrica no Sistema Interligado Brasileiro	52
FIGURA 15 – Estrutura típica de consumo em prédios públicos	54
FIGURA 16 – Distribuição por classes dos imóveis públicos.	55
FIGURA 17 – Modelo da ENCE com níveis de eficiência A.	59
FIGURA 18 – Espectro eletromagnético	62
FIGURA 19 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas	62
FIGURA 20 - Fluxo Luminoso	63
FIGURA 21 – Intensidade Luminosa.....	64
FIGURA 22 – Curva de distribuição de Intensidade Luminosa para uma lâmpada fluorescente isolada (A) e associada a um refletor (B)	64
FIGURA 23 – Iluminância	65
FIGURA 24 – Diferença entre luminância e iluminação.	66
FIGURA 25 – Eficiência Luminosa para diferentes lâmpadas	67
FIGURA 26 – Temperatura de Cor (em Kelvin).....	68
FIGURA 27 – Relação entre Índice de Reprodução de Cor e Temperatura de Cor.....	69
FIGURA 28 – Ofuscamento	71
FIGURA 29 – Representação do pé-direito útil	73
FIGURA 30 – Energia elétrica acumulada em circuito AC	77
FIGURA 31 – Diagrama vetorial entre tensão e corrente	78
FIGURA 32 – Sinais de tensão e corrente defasados.....	79
FIGURA 33 – Triângulo de Potências	79
FIGURA 34 – Curva de carga típica do setor industrial	83
FIGURA 35 – Tarifa Horo-Sazonal Verde.....	85
FIGURA 36 – Tarifa Horo-Sazonal Azul.....	86
FIGURA 37 – Componentes da Tarifa de Energia Elétrica referentes a 2008.....	88
FIGURA 38 – Diagrama T-S para o ar	95
FIGURA 39 – Esboço da planta baixa do prédio	97
FIGURA 40 – Diagrama unifilar da subestação do prédio.	99
FIGURA 41 – Disposição dos transformadores na SE	99
FIGURA 42 – Estrutura da carga consumida na instalação.	101
FIGURA 43 – Distribuição dos tipos de lâmpadas presentes na instalação.....	102
FIGURA 44 – Luminárias existentes na instalação e sua distribuição.	102
FIGURA 45 – Comparação entre as lâmpadas.....	106

FIGURA 46 – Reatores 2x28 W.....	106
FIGURA 47 – Especificações da luminária proposta.....	107
FIGURA 48 – Histórico de consumo nos horários de ponta e fora de ponta.....	114
FIGURA 49 – Histórico de demanda.	115
FIGURA 50 – Simulação para contratação de demanda.	115
FIGURA 51 – Gastos históricos de demanda e ultrapassagem e demanda proposta.....	116
FIGURA 52 – Curva de carga em um dia típico.	117
FIGURA 53 – Curva de carga de uma semana típica.....	117
FIGURA 54 – Comparações tarifárias entre as três modalidades de alta tensão.	118
FIGURA 55 – Curva do Fator de Potência diário típico.....	120
FIGURA 56 – Histórico do consumo de energia reativa.	121
FIGURA 57 – Comparativo entre a instalação do banco de capacitores fixo e programável.....	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Projetos de Eficiência Energética por Ciclos.....	31
TABELA 2 – Projetos de Eficientização Energética realizados após a Resolução nº 300/2008 – ANEEL	31
TABELA 3 – Novos Projetos de Eficiência Energética até Julho de 2010.....	32
TABELA 4 – Empreendimentos em Operação – Capacidade Instalada até 12/2009	37
TABELA 5 – ESCOs por país e faturamento (2001)	42
TABELA 6 – Eletricidade: Indicadores (em TWh).....	49
TABELA 7 – Condições internas de conforto para verão, de acordo com a temperatura externa	93
TABELA 8 - Condições internas de conforto para inverno, de acordo com a temperatura externa	93
TABELA 9 – Composição do ar seco nível do mar	94
TABELA 10 – Estimativa de Carga térmica	96
TABELA 11 – Demanda dos TF1 e TF2 (Dois trafos de 225 kVA em paralelo).....	100
TABELA 12 – Salas analisadas no Térreo.....	104
TABELA 13 – Salas analisadas no 2º Pavimento.	105
TABELA 14 – Salas analisadas no 3º Pavimento.	105
TABELA 15 – Salas analisadas no 4º Pavimento.	105
TABELA 16 – Orçamento dos equipamentos.....	108
TABELA 17 – Resultado da Análise.	108
TABELA 18 – Sistema proposto de climatização para o prédio.....	110
TABELA 19 – Carga Instalada no prédio.	111
TABELA 20 – Carga proposta de substituição para o prédio.	111
TABELA 21 – Análise da adequação do Sistema de Climatização	112
TABELA 22 – Custos para aquisição dos novos aparelhos ACJ	113
TABELA 23 – Resultados da Análise para Correção do FP	123
TABELA 24 – Comparativo das propostas analisadas.	126
TABELA 25 – Redução Média Mensal dos Custos com Eletricidade.....	128

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Comparação entre os Modelos do Setor Elétrico.....	24
QUADRO 2 – Tipos de Imóveis	51
QUADRO 3 – Fator de Carga geral dos tipos de instalação (média).....	53
QUADRO 4 – Refletância para materiais ou cores.....	70
QUADRO 5 – Grupo B: Tipos de consumidores.....	83
QUADRO 6 – Comparativo entre as instalações individual e de bancos de capacitores.....	91
QUADRO 7 – Temperaturas médias mínimas no período de 1961-1990 em °Celsius	92
QUADRO 8 – Fatores de multiplicação para cálculo de carga térmica.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia
ACJ	Ar Condicionado de Janela
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BTU	<i>British Thermal Unit</i> (Unidade Térmica Britânica)
EEE	Eficiência Energética em Edificações
ENCE	Etiquetagem Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de Potência
M&V	Medição e Verificação
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PEE	Plano de Eficiência Energética
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica
PNE 2030	Plano Nacional de Energia 2030

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia pela população mundial teve uma evolução descontrolada durante todo o século passado, que refletiu em previsões catastróficas para este século se os hábitos não mudarem a favor da racionalização do uso dos recursos naturais. As visíveis mudanças climáticas e as demandas cada vez maiores de energia para suprir a evolução tecnológica contribuíram para o nascimento da Eficiência Energética.

A eficiência energética surge como a possibilidade de manter os insumos da energia consumindo muito menos recursos para tanto. O combate aos desperdícios e a necessidade de atendimento da demanda de energia aliam-se a expansão contínua do sistema e utilização racional de energia. O surgimento de programas de conservação de energia, regulados pelo órgão competente, tem grande influência inicial para formar a base de um mercado de eficiência energética. Essa pesquisa analisa o potencial do mercado de eficiência energética no setor público.

Embasado nesta perspectiva atual dividiu-se este projeto em sete partes:

- 1.** Eficiência Energética: onde se dissertou a respeito da evolução histórica;
- 2.** Eficiência Energética em Prédios Públicos: caracterizou a situação atual deste setor;
- 3.** Fundamentos Teóricos: abrange noções e conceitos a serem aplicados em eficiência de energia;
- 4.** Estudo de Caso: com objetivo de apresentar dados reais de uma unidade consumidora do setor público e apresentar propostas de conservação de energia;
- 5.** Viabilidade Financeira das Propostas: apresenta os índices utilizados na avaliação de projetos de eficiência energética;
- 6.** Conclusões: com objetivo de apresentar os efeitos de projeto;

7. Considerações Finais e Trabalhos Futuros: aponta os detalhes das considerações admitidas para apresentação dos resultados do estudo e indica possíveis detalhamentos.

2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1. Conceito

O uso intensivo de uma ou mais formas de energia está presente em qualquer atividade da sociedade moderna. Seja em simples equipamentos ou em processos complexos, mas as formas de energia que mais nos interessam são as processadas pela sociedade e colocadas à disposição dos consumidores. Como, por exemplo, a gasolina, o álcool, óleo diesel, gás natural e a eletricidade.

Tais processos transformam formas de energia e uma parte da energia necessária é sempre perdida para o meio ambiente. As lâmpadas incandescentes comum, que transformam energia elétrica em luz, têm uma eficiência de 8% (ou seja, 92% da energia consumida pela lâmpada apenas aquece o meio ambiente). Já as lâmpadas fluorescentes são de duas a quatro vezes mais eficientes em relação às lâmpadas incandescentes, e chegam a ter vida útil acima de dez mil horas de uso, podendo chegar à marca de vinte mil horas de uso, contra a durabilidade normal de mil horas das incandescentes. Se for feito um comparativo entre lâmpadas incandescentes e fluorescentes com o mesmo fluxo luminoso e sob as mesmas condições será percebido ao final do mesmo período uma economia de 75% (lâmpada de 15 W fluorescente comparada a uma lâmpada incandescente de 60 W).

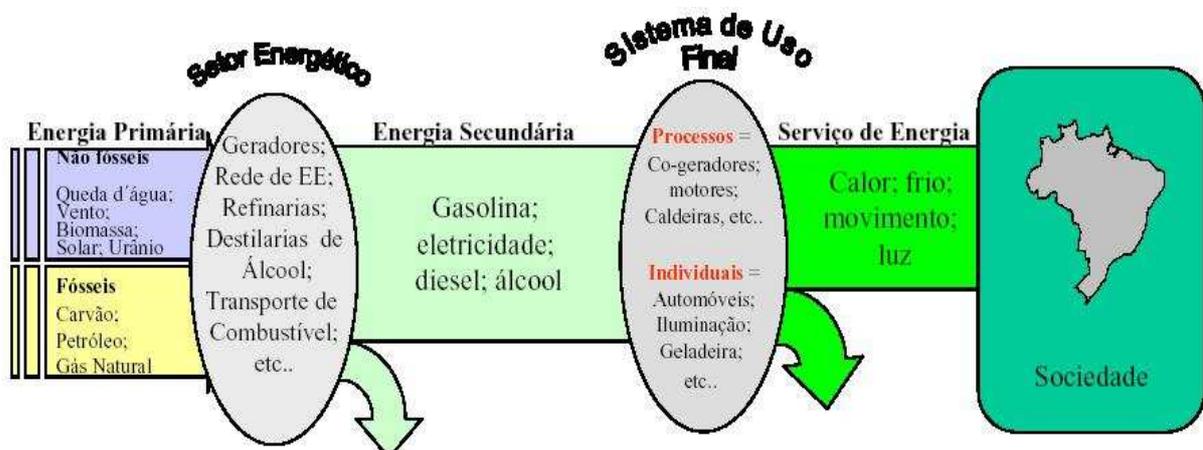


FIGURA 1 - A Cadeia do Uso da Energia
Fonte: INEE (2001, p. 5)

A Figura 1 esquematiza o complexo caminho da energia entre a fase primária e o momento em que é usada para os serviços energéticos. Neste percurso a energia primária sofre transformações e se apresenta de diversas formas que podem ser medidas com uma mesma unidade, como se a energia fosse uma espécie de fluido percorrendo todos os setores da economia. As diversas formas como a energia se apresentam são representadas em três retângulos emoldurados, para cada grupo: energia primária, energia secundária e serviço de energia. Melhorar a eficiência significa reduzir o consumo de energia primária necessário para produzir um determinado serviço de energia. A redução pode acontecer em qualquer etapa da cadeia das transformações. Pode também ocorrer devido à substituição de uma forma de energia por outra no uso final conforme relatório do Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE (2001, p.6).

A Eficiência Energética baseia-se em um conjunto de práticas e políticas, que reduza os custos com energia e/ou aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração, que são resumidas a baixo:

- a) Planejamento integrado dos recursos – são práticas que subsidiam os planejadores e reguladores de energia a avaliar os custos e benefícios sob as óticas da oferta (geração/distribuição) e demanda (consumidor final), de forma a que a energia utilizada pelo sistema seja a de menor custo financeiro e ambiental;
- b) Eficiência na Geração, Transmissão e Distribuição – são práticas e tecnologias que estimulam a eficiência em toda a eletricidade que é gerada até a entrega aos consumidores finais. Esta categoria inclui co-geração e turbinas de queima de gás natural e outras tecnologias capazes de disponibilizar maior quantidade de energia elétrica em plantas já existentes.
- c) Eficiência no uso final – são tecnologias e práticas que estimulam a eficiência energética no nível do consumidor final. Essa categoria inclui praticamente todos os

empregos de eletricidade e tecnologias caloríficas existentes, tais como motores, iluminação, aquecimento, ventilação, condicionamento de ar, entre outros. Também inclui tecnologias que propiciem a conservação e o melhor uso da energia, tais como geradores de energia elétrica a partir de energia solar e aparelhos de controle do consumo de energia.

De acordo com NOGUEIRA (2007), “a racionalização do uso da energia possibilita melhor qualidade de vida, gerando conseqüentemente, crescimento econômico, emprego e competitividade. Uma Política de Ação referente à Eficiência Energética tem como meta o emprego de técnicas e práticas capazes de promover os usos “inteligentes” da energia, reduzindo custos e produzindo ganhos de produtividade e de lucratividade, na perspectiva do desenvolvimento sustentável”.

2.2. Histórico

O surgimento da preocupação com relação à eficiência energética surgiu nos anos 1970 devido a crise do petróleo. Fontes renováveis de energia e projetos de eficiência energética recebem consideráveis investimentos em inúmeros países industrializados. Contudo, o custo do petróleo estabilizou, então houve um declínio nos investimentos na área de conservação de energia. E, os fundos disponíveis para financiar as atividades de conservação e diversificação das fontes primárias de energia foram conseqüentemente, bastante reduzidos.

No início da década 1990, o impacto das emissões de poluentes tornou-se uma preocupação mundial devido a variação climática global. Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro e posteriormente na cidade de Kioto, discutiu-se e firmaram-se acordos para redução da queima de combustíveis sem comprometer o nível de produção industrial e os atuais níveis de conforto propiciados às pessoas pelo uso da energia. Foram estabelecidas metas, pelos

países participantes, de redução de emissão de CO₂. Para que tais objetivos fossem mutuamente alcançados tornou-se imprescindível a otimização da cadeia energética, isto é, desde a produção de energia até seu uso final.

O Setor Elétrico brasileiro apontou para uma política de uso racional e eficiente de energia em meados da década de 1980 com a implantação do Programa de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, da Eletrobrás. Esta abordagem ampla recebeu críticas que apontavam para a necessidade de definição explícita de mecanismos de eficiência energética SCHAEFFER (2004). Para melhoria de eficiência, surgiram algumas sugestões, no período de discussão do modelo do Setor Elétrico brasileiro, como a negociação de “blocos de energia conservada”. Tal negociação seria semelhante às realizadas com energia alternativas – eólica, solar, biomassa e pequena central hidrelétrica – PCH, que possuem uma parcela garantida de geração contratada através de um processo de leilão conforme GARCIA (2008).

SZKLO e GELLER (2006, p. 193-194), apud GARCIA (2008, p.40), elencaram quatro políticas principais para aumentar a conservação de energia no Brasil: criar uma nova agência de eficiência energética, incorporar práticas de ofertas de energia pelo lado da demanda à expansão do setor e medidas de eficiência energética como opção de planejamento, incrementar a aplicação da Lei de Eficiência Energética e adotar códigos de energia para os novos prédios comerciais. A oferta de energia pela demanda envolveria uma requisição de projetos (local de aplicação, medida, custo, redução estimada, vida útil e incentivo requerido), sua qualificação, implementação e posterior verificação. Outras propostas têm aparecido, WWF-Brasil, (2006); Geller (2006), sugerindo a implantação do leilão de eficiência energética.

Ainda sobre a elaboração do modelo brasileiro HADDAD (2009, p.11) concluiu que através do PROCEL tornou-se possível implementar algumas medidas que redundaram em ganhos energéticos ao Brasil. Destacando a promoção de lâmpadas mais eficientes, com a

substituição na iluminação pública e nos setores comercial e residencial, o aumento da eficiência de eletrodomésticos e de motores, através da etiquetagem, a instalação de medidores, reduzindo as perdas comerciais (populares “gatos”), e a eliminação de desperdícios de energia elétrica das concessionárias, reduzindo as perdas nos sistemas de geração, transmissão e distribuição. Uma ação estrutural que merece destaque é o estabelecimento de padrões e/ou etiquetas de eficiência energética dos equipamentos, de forma voluntária ou compulsória. A partir das ações adotadas na Califórnia, Estados Unidos, na década de 1970, diversos países se sentiram motivados a repetir a experiência da implantação de padrões e etiquetas em vários produtos. O Brasil começou a implementar seu programa, conhecido como Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, com o apoio da Eletrobrás/PROCEL e do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, a partir de 1985. Alguns produtos, como freezers, geladeiras e aparelhos de ar condicionado, entre outros, exibem essa identificação. A partir do ano de 2006, o selo PROCEL chegou aos televisores e fornos de microondas que apresentavam consumo reduzido no modo *stand-by* (KONDA, 2006).

Outro marco histórico, para conservação de energia no Brasil, foi, no ano de 2000, com a promulgação da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que estabeleceu a obrigatoriedade de aplicação de uma parcela da receita operacional líquida - ROL, por parte das concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica, em programas de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico – P&D e de eficiência energética e outra parcela destinada ao fundo do CTENERG, os quais devem ser aplicados de acordo com os regulamentos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

De acordo com o Manual para Elaboração de Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008), o objetivo desses programas é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria

da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos racionais de uso da energia elétrica e o fortalecimento das Empresas de Serviços de Conservação de Energia - ESCO.

O Decreto 4.059/2001 instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, que possui dentre suas atribuições e elaboração das regulamentações específicas para cada tipo de aparelho consumidor de energia e o estabelecimento do Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados por cada equipamento regulamentado. Segundo HADDAD (2009, p. 13), o primeiro equipamento selecionado pelo CGIEE para ser objeto da regulamentação específica foi o motor elétrico trifásico, em função do significativo consumo de energia – estimado em cerca de 30% do consumo total do país e 50% do consumo do setor industrial.

A implementação da Lei Nacional de Eficiência Energética produziu, como consequência, os seguintes fatos:

- a) A retirada do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos menos eficientes energeticamente;
- b) Obtenção de economia de energia ao longo do tempo;
- c) Promoção de desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- d) Promoção do aumento da competitividade industrial do país;
- e) Redução dos gastos dos consumidores;
- f) Contribuição para a redução dos impactos sócio-ambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

2.3. Estrutura Organizacional

As instituições envolvidas diretamente com o tema eficiência energética, conforme Figura 2, são: o Ministério de Minas e Energia – MME, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e B combustíveis – ANP. Ainda na esfera governamental, destaca-se o Programa de Etiquetagem – PBE, que conta com a participação do MDIC/INMETRO. Trabalham em conjunto com os agentes públicos os setores da indústria (CNI e Federações Industriais), do comércio (SEBRAE e Federações de Comércio) e outras entidades civis (HADDAD, 2009, p. 7). O Poder Regular do setor, atualmente, esta com o MME através da ANEEL (com equipe técnica na área de P&D e EE).

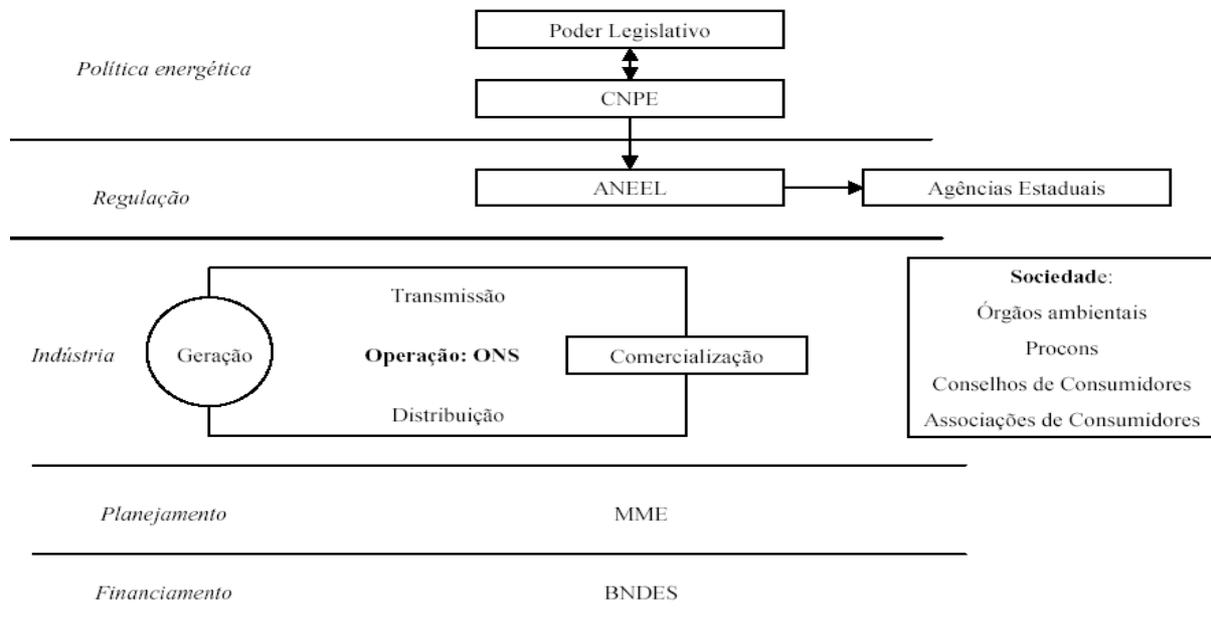


FIGURA 2 - Modelo Institucional
Fonte: GARCIA (2008)

Segundo GARCIA (2008, p. 17), após o racionamento, diversos estudos foram feitos no sentido de se evitar repetição do evento, entre eles o do Instituto Cidadania, reunindo uma equipe onde diversos participantes comporiam o corpo técnico do novo Governo Federal. Esta

equipe elaborou documento (IC, 2002) que serviu de base ao Novo Modelo do Setor Elétrico. Portanto, propunha-se um novo modelo que foi síntese dos outros dois: retomava o planejamento energético, a prioridade às hidrelétricas, o valor econômico-social da energia ao mesmo tempo em que mantinha a participação privada e a concorrência nos setores de geração e comercialização. O Quadro 1 resume as principais diferenças entre os três modelos já praticados no setor elétrico brasileiro. O “Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico” (MME, 2003), estabeleceu como principais objetivos:

- Garantir a segurança de suprimento de energia elétrica
- Promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados
- Promover a inserção social no Setor Elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento (“Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - *Luz para Todos*”)

Modelo Estatal (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (a partir de 2004)
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização, importação e exportação
Empresas predominantemente estatais	Abertura e ênfase na privatização das empresas	Convivência entre empresas estatais e privadas
Monopólios – competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores cativos	Consumidores livres e cativos	Consumidores livres e cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: preços livremente negociados na geração e comercialização No ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência entre Mercado Livre e Regulado
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobras/déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficit (MCSO) para as Distribuidoras

QUADRO 1 – Comparação entre os Modelos do Setor Elétrico
Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE (2007).

Para o Novo Modelo houve necessidade de criação de agentes institucionais e uma reformulação de outros. Na Figura 3 é apresentado o esquema geral de funcionamento. Onde Conselho Nacional de Política Energética – CNPE define a política energética, ao par com as demais políticas públicas, cujas diretrizes são implementadas pelo MME. A ANEEL tem a função de regular o mercado, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE a função do planejamento, a operação coordenada é feita pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, já as contratações são realizadas, monitoradas e liquidadas pela Câmara de Compensação de Energia Elétrica - CCEE e o Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico – CMSE fica responsável pelas análises de longo prazo que garantam suprimento confortável, seguro e confiável.

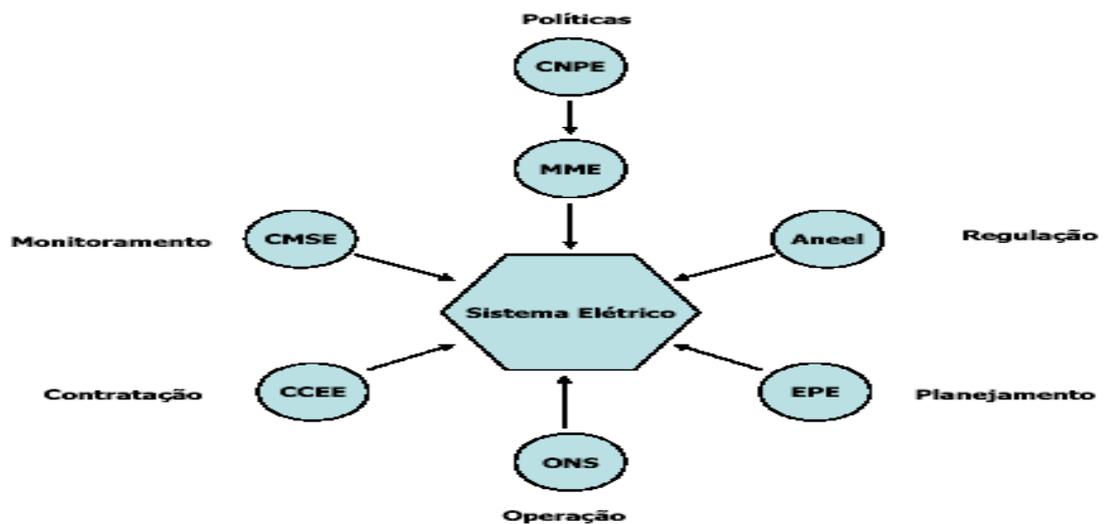


FIGURA 3 - Agentes Institucionais do Setor Elétrico
Fonte: GARCIA (2008)

De acordo com GARCIA (2008, p.22), o MME nivelou a eficiência energética ao mesmo patamar dos demais recursos energéticos a serem explorados a médio e longo prazo. O Plano Nacional de Energia 2030 - PNE 2030 já previu, conforme a Figura 4 o gerenciamento da demanda e a expansão da oferta. Consideraram-se duas alternativas, em função da efficientização energética, progresso autônomo, baseado na evolução tecnológica dos equipamentos, hábitos de uso e ações dos programas já em andamento ligados a Lei de

Eficiência Energética, e outra alternativa que seria o processo induzido, resultado de ações de fomento para uma maior conservação de energia.

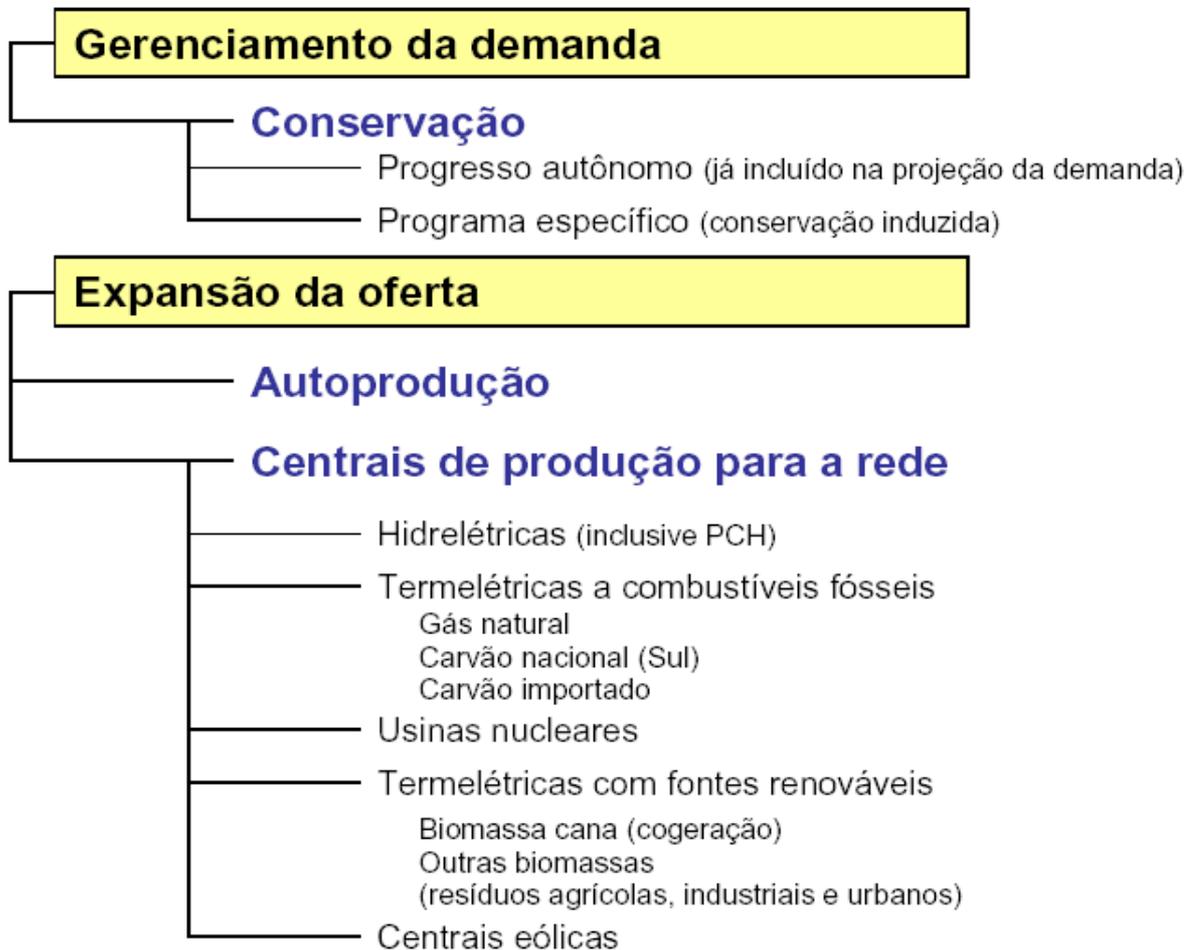


FIGURA 4 - Alternativas para atendimento da demanda
Fonte: EPE (2006)

A Figura 5 representa uma redução de 10% de consumo até 2030, baseada em um dos quatro cenários macroeconômicos criados no PNE 2030. O processo induzido deste período, com base nas estratégias do MME de desenvolvimento de mecanismo de mercado, valorizou o Leilão de Eficiência Energética. Integrando os procedimentos a serem adotados na CCEE com a execução de leilões e celebração de contratos, que posteriormente passam por processos de análise e de medição e verificação.

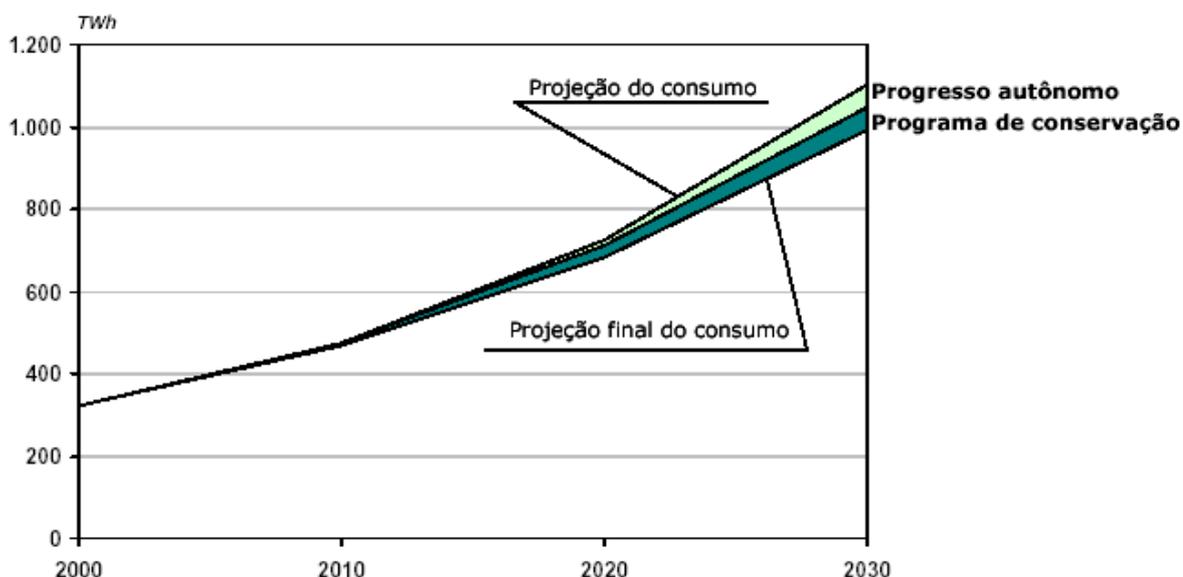


FIGURA 5 - Projeção do consumo final de energia elétrica
 Fonte: EPE (2006)

2.4. Estudos de longo prazo

Conforme GARCIA (2008), o planejamento da expansão é realizado inicialmente com estudos de longo prazo, com periodicidade prevista de dois anos, que são detalhados em planos decenais, revisados anualmente, mostrado na Figura 6. Os estudos de longo prazo apontam os rumos que pode tomar o uso da energia e subsidiam as políticas energéticas a serem definidas. Os planos decenais estabelecem um conjunto de usinas capazes de atender à demanda projetada e servem de base aos licenciamentos ambientais prévios ao leilão e às usinas que vão constituir o espectro básico de ofertas. No PNE 2030 previu-se uma redução de mercado por ações já incorporadas, denominando-o progresso autônomo e outra a ser concretizada por ações efetivas do poder governamental – o progresso induzido. Supôs que futuramente se detalhem “usinas virtuais”, medidas de eficiência energética bem definidas (por exemplo, geladeiras mais eficientes, iluminação pública, força motriz na indústria), com potencial a ser atingido, estratégia de ação, orçamento, prazo, ações de M&V e forma de acompanhamento.

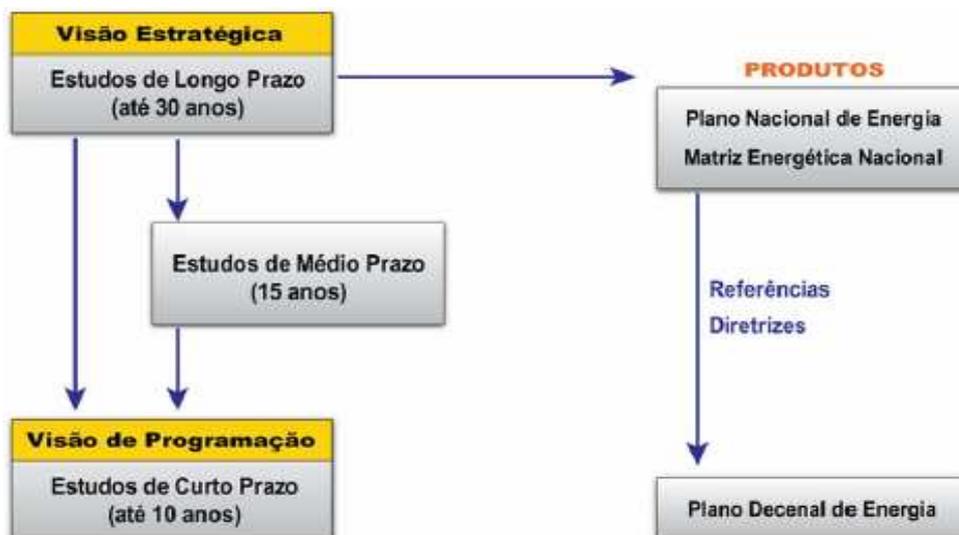


FIGURA 6 – Processo de Planejamento do Setor Elétrico
Fonte: GARCIA (2008)

GARCIA (2008), ainda afirma que os planos fazem projeções da oferta e da demanda respectiva para atendê-la. As projeções de demanda, no PNE 2030, levam em consideração a evolução do PIB¹ do setor em cada cenário macroeconômico estudado e sua distribuição pelos subsetores (Figura 7). Com isso, no setor comercial e residencial, a demanda final de eletricidade estará atrelada à evolução da população e da renda per capita enquanto, no setor industrial, dependerá dos índices de eficiência energética em kWh/ton. No Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, os setores eletro-intensivos são tratados individualmente, com projeções de oferta e índices de eficiência energética e os demais por elasticidade demanda-PIB. Contudo, os agentes do setor ficam com toda responsabilidade de aquisição da energia necessária para o atendimento do mercado. Então, se há necessidade da construção de hidrelétricas, que tem um prazo de cinco anos para sua construção, as distribuidoras deverão informar suas previsões de carga no mesmo período à frente. Pois, tais informações serão consolidadas e agrupadas pela EPE.

¹ PIB: Produto Interno Bruto

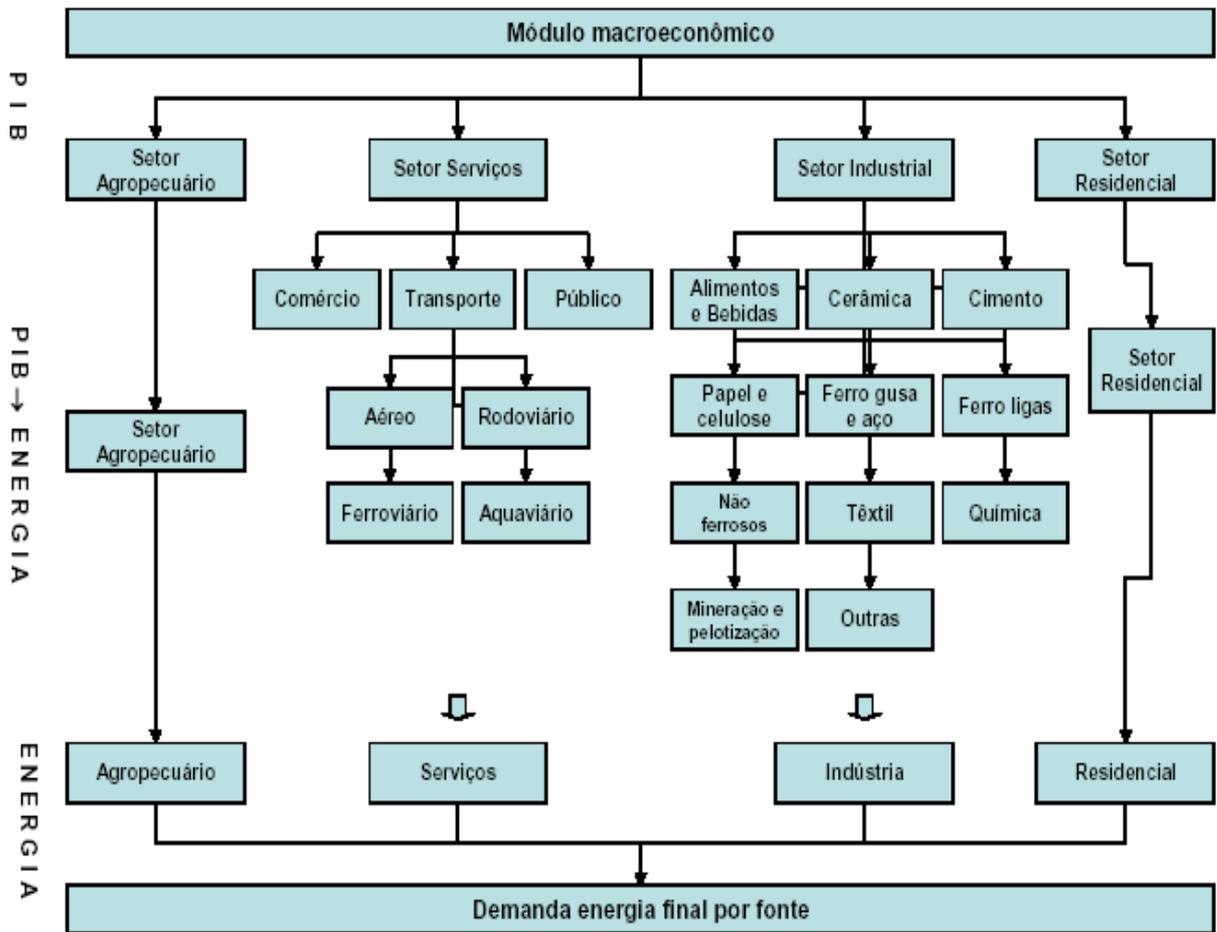


FIGURA 7 – Esquema do Modelo Integrado de Planejamento Energético
 Fonte: EPE (2006)

A partir das necessidades previstas pelas distribuidoras, responsáveis pelo atendimento do mercado, à EPE cria-se um plano de oferta de usinas, com uma margem de acréscimo da real necessidade de mercado, que vão à leilão (A-5)². Como o prazo de cinco anos da abertura para alteração do cenário energético, e as usinas térmicas podem ser construídas em tempo menor, acontece outro leilão três anos antes (A-3)³, para contratos tipicamente com termelétricas e por fim o leilão um ano antes (A-1)⁴, de geração existente conforme detalhado na Figura 8.

²A-5: são os leilões que ocorrem cinco anos antes dos empreendimentos necessários para sua operação.

³A-3: são os leilões para entrega três anos após a compra, tipicamente para construção de termelétricas e eólicas.

⁴A-1: são os leilões de curto prazo (um ano) para ajustes e rateio de sobras e déficits interno ao pool.

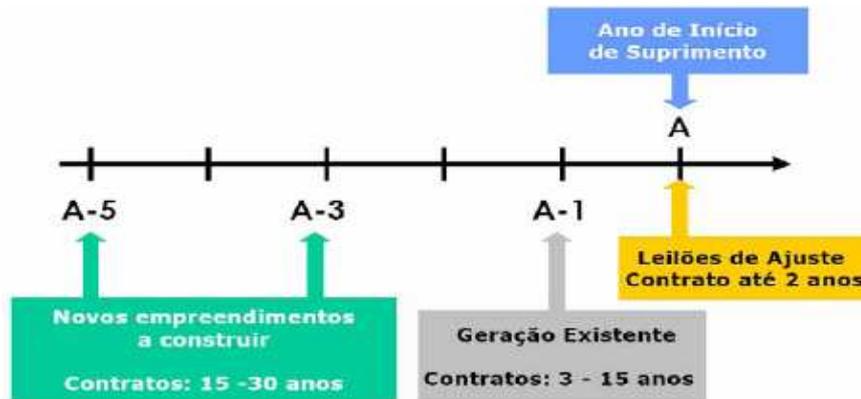


FIGURA 8 – Leilões de compra no Ambiente de Contratação Regulada
Fonte: CCEE (2006)

2.5. Programa de Eficiência Energética – PEE

Segundo ANEEL (2008), o objetivo desses programas é demonstrar à sociedade a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício de energia elétrica e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e de demanda evitada no âmbito desses programas. Pretende-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos racionais de uso de energia elétrica.

No Brasil as concessionárias de energia elétrica são responsáveis por quase a totalidade dos recursos para programas de eficiência energética. A Lei 11.465/2007 alterou os índices de investimentos estabelecidos anteriormente pela Lei 9.991/2000, conforme Figura 9.

Lei 11.465/2007 (alterou incisos I e III do art. 1º da 9.991/2000)										
	Vigência 29/03/2007 a 31/12/2010					Vigência a partir de 1º/01/2011.				
	P & D	PEE	FNDCT	MME	TOTAL (%)	P & D	PEE	FNDCT	MME	TOTAL (%)
D	40% de 50%	100% de 50%	40% de 50%	20% de 50%		40% de 75%	100% de 25%	40% de 75%	20% de 75%	
	0,20	0,50	0,20	0,10	1,00	0,30	0,25	0,30	0,15	1,00
G	40% de 100%		40% de 100%	20% de 100%		40% de 100%		40% de 100%	20% de 100%	
	0,40		0,40	0,20	1,00	0,40		0,40	0,20	1,00
T	40% de 100%		40% de 100%	20% de 100%		40% de 100%		40% de 100%	20% de 100%	
	0,40		0,40	0,20	1,00	0,40		0,40	0,20	1,00

FIGURA 9 – Alteração de cotas de investimentos de PEE.
Fonte: SANCHES, J. R. (2009)

Os resultados obtidos para elaboração da Tabelas 1, Tabela 2 e Tabela 3 foram extraídos do sítio da ANEEL, onde são apresentados todos os projetos aprovados em eficiência energética seguindo como regra o Manual de elaboração do Programa de Eficiência Energética. A Tabela 1 apresenta os resultados por ciclos baseados na metodologia de avaliação e execução antes da Resolução nº 300/2008, que é a base dos resultados apresentados na Tabela 2, até o mês de Julho de 2010, os investimentos para projetos de eficiência energética por uso final foram estimados⁵ em torno de R\$ 299.489.817,07, e na Tabela 3 detalhou-se as diferentes tipologias dos projetos apresentados durante o período de janeiro a julho de 2010.

TABELA 1 – Projetos de Eficiência Energética por Ciclos
Fonte: Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética SPE/ANEEL (2010)

Ciclo	Projetos	Nº de Concessionárias	Demanda Retirada de Ponta (MW)	Economia de Energia (GWh/ano)	ROL (%)	Investimentos em R\$ (Milhão)
1998/1999	251	17	250	755	1,00	196
1999/2000	364	42	370	1.020	0,75	230
2000/2001	199	64	251	894	0,50	152
2001/2002	194	64	85	348	0,50	142
2002/2003	402	64	54	222	0,50	154
2003/2004	568	64	110	489	0,50	313
2004/2005	598	64	275	925	0,50	175
2005/2006	364	63	158	569	0,50/0,25	311
2006/2007	279	62	141	377	0,25	263
TOTAL	3.219	-	1.694	5.599	-	1.936

TABELA 2 – Projetos de Eficientização Energética realizados após a Resolução nº 300/2008 – ANEEL
Fonte: Elaboração própria, baseada em ANEEL (2010)

Projetos	2008	2009	Até Jul/2010
Quantidade	176	268	108
Investimentos	R\$ 544.136.517,20	R\$ 602.711.162,41	R\$ 299.488.817,07
ROL (%)	0,50	0,50	0,50
Economia de Energia (MWh/ano)	642495,14	452299,13	292543,05
Redução de Demanda na Ponta (kW)	237506,44	156552,86	75567,33

⁵ Alguns dos Projetos de EE das Concessionárias de Energia Elétrica ainda estão sob análise da ANEEL.

TABELA 3 – Novos Projetos de Eficiência Energética até Julho de 2010
Fonte: Elaboração própria, baseada em ANEEL (2010)

Tipologia	Quantidade	Investimentos	Economia de Energia (MWh/ano)	Redução de Demanda na Ponta (kW)
Aquecimento Solar	6	R\$ 10.774.479,83	3.152,04	3.098,51
Baixa Renda	28	R\$ 185.594.829,01	184.024,86	54.098,41
Cogeração	1	R\$ 20.000.000,00	18.259,00	2.500,00
Comércio e Serviços	15	R\$ 5.371.638,42	3.680,34	1.186,53
Educacional	7	R\$ 5.849.511,97	NC	NC
Gestão Energética Municipal	NC	NC	NC	NC
Industrial	2	R\$ 1.813.001,00	2.273,59	272,00
Pelo Lado da Oferta	NC	NC	NC	NC
Poder Público	27	R\$ 55.521.984,90	41.752,56	8.746,98
Projeto Piloto	1	R\$ 256.846,58	170,75	71,37
Residencial	4	R\$ 4.280.030,00	27.362,28	1.102,50
Rural	11	R\$ 5.374.626,40	6.736,58	3.694,75
Serviço Público	6	R\$ 4.651.868,96	5.131,05	796,28
TOTAL	108	R\$ 299.488.817,07	292.543,05	75.567,33

O PEE obteve, além do resultado econômico, a redução do consumo de energia para os 108 projetos em 292.543,05 MWh/ano e uma diminuição de Demanda na Ponta no valor de 75.567,33 kW. As reduções de consumo com os projetos até o presente momento equivalem a 65% do consumo economizado em todo o ano de 2009. As categorias dos projetos são apresentadas a seguir:

- a) Projetos convencionais: resultados previsíveis e de fácil quantificação (Residencial, Comercial e Serviços);
- b) Projeto-piloto: promissor, inédito ou inovador, incluindo pioneirismo tecnológico e experiência para ampliar sua escala de execução;
- c) Projeto educacional: formação de hábitos de uso racional de energia;
- d) Gestão energética: melhoria da gestão energética nos serviços de administração pública (Gestão Energética Municipal, Poder e Serviço Público).
- e) Projeto prioritário: grande relevância e abrangência, concebido no âmbito de uma política nacional de eficiência energética (Industrial, Cogeração e Baixa Renda);

f) Do lado da oferta: melhoria do fator de carga do sistema elétrico.

Conforme POMPERMAYER (2009), Superintendente de Pesquisas e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE/ANEEL, para obter maior ênfase na avaliação de resultados dos projetos foi extinto os ciclos de verificação e adotado o fluxo contínuo de projetos. Uma grande flexibilidade e autonomia foram atingidas na execução dos projetos por parte das concessionárias e um compromisso com os resultados em decorrência da simplificação dos procedimentos burocráticos. A sustentabilidade das ações de Eficiência Energética partiu das mudanças comportamentais e transformação do mercado. Onde o cenário apresentou um aumento nos incentivos aos contratos de desempenho em paralelo com ações de gestão, marketing, treinamento de pessoal e educação da população. A energia e o meio ambiente passaram para uma sistemática de trabalho conjunto como um instrumento de políticas públicas de meio ambiente.

Os investimentos realizados nos PEE, segundo JANNUZZI e SANTOS (2007), não indicam claramente uma linha de prioridade bem definida; percebe-se, no entanto, que projetos em iluminação são preponderantes em número, ainda que não corresponda a maior parte do investimento. Esta tendência, também identificada nos EUA por GOLDMAN (2005), é justificada por fatores como a padronização dos projetos, facilidade de M&V e o rápido retorno do investimento.

2.5.1. Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética

Para a elaboração e execução de projetos de eficiência energética regulados pela ANEEL foi elaborado o Manual dos Programas de Eficiência Energética – MPEE – como guia determinativo de procedimentos. No MPEE definem-se a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, critérios de avaliação e de fiscalização e o tipo de projeto que

podem ser realizados com recursos do PEE. Além da apresentação dos procedimentos para contabilização dos custos e apropriação dos investimentos realizados.

As aplicações dos recursos, a partir de janeiro de 2011, deverão ser realizadas pelas concessionárias ou permissionárias conforme índices estabelecidos apresentados anteriormente na Figura 6 e estarão sujeitas às penalidades previstas na Resolução da ANEEL nº 63/2004, onde o acumulo na Conta de Eficiência Energética montante não poderá ser superior a soma do recolhimento dos últimos dois anos. Como disposição transitória, até dezembro de 2010, as concessionárias que excederem o limite estabelecido anteriormente estarão isentas das penalidades, desde que comprovem aplicação anual equivalente ao recolhimento médio dos últimos dois anos. O mínimo de 50% da obrigação legal de investimentos de programas de eficiência energética deverá ser aplicado em projetos de comunidades de baixo poder aquisitivo e, no mês de março de cada ano, será verificado se a obrigatoriedade foi observada pela empresa na execução de seus projetos.

Na Figura 10, são mostradas, em linhas gerais, as etapas envolvidas em um projeto de eficiência energética.

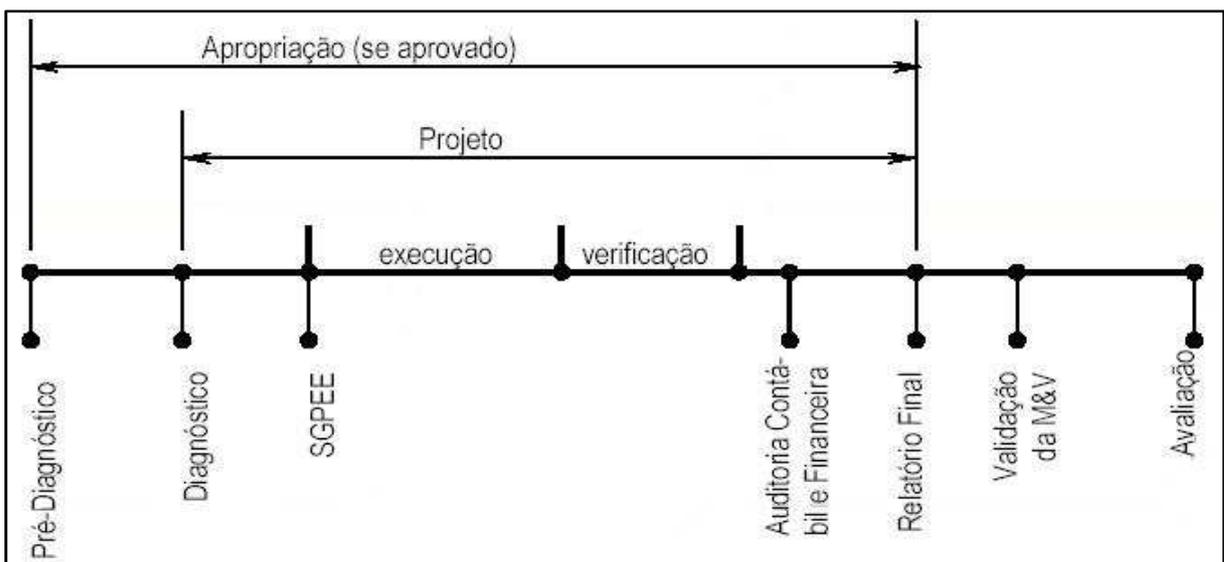


FIGURA 10 – Etapas de Execução dos Projetos
Fonte: MPEE (2008)

Conforme MPEE (2008), as atividades de prospecção e identificação de potencialidades de economia de energia são feitas na etapa de pré-diagnóstico. Na etapa de diagnóstico é definida a linha de base do projeto, de acordo com o plano de medição e verificação desenhado, e sempre se baseando no Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP. No caso dos projetos sem avaliação inicial, o diagnóstico deverá ser feito antes do carregamento do projeto no SGPEE.

A etapa de execução compreende as atividades de engenharia e obras previstas no projeto e será sucedida pela etapa de verificação, onde os reais ganhos de economia de energia e redução de demanda na ponta serão obtidos, através da comparação das medições e dados da instalação no período posterior à reforma com aquelas estabelecidas na linha de base.

Após a finalização de todas as atividades do projeto, deverá ser emitido o Relatório Final. Essa etapa configura o encerramento formal do projeto e após a submissão à ANEEL do Relatório Final e do Relatório de Auditoria Contábil e Financeira. Sucederá essa etapa a validação dos critérios de Medição e Verificação – M&V, a ser realizado pela ANEEL. Será então iniciada a avaliação dos resultados obtidos no projeto. A Figura 8 apresenta o fluxograma do processo de realização dos projetos desde a prospecção até o encerramento do projeto e avaliação dos resultados.

De acordo com JANNUZZI e SANTOS (2007), “há grande variação na forma de sistematização dos projetos, com ausência de muitos relatórios finais. Para muitos projetos existe apenas o relatório parcial. Projetos com o poder público apresentam a tendência de serem maiores em valor, que pode ser justificado pela escala do mesmo e pelas barreiras para viabilização de projetos com instituições governamentais.”

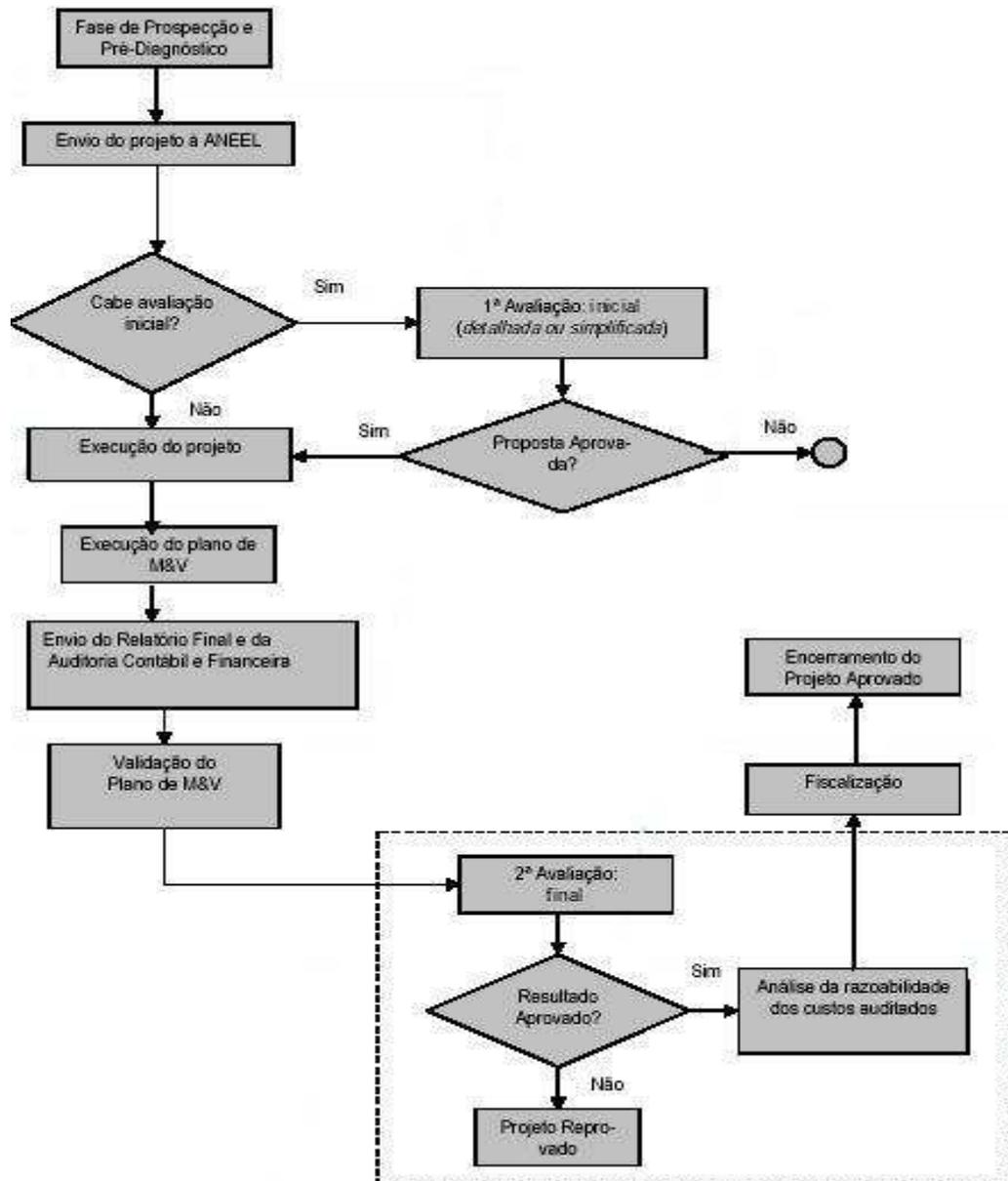


FIGURA 11 – Etapas de realização do projeto e avaliação
Fonte: MPEE (2008)

2.5.2. Plano Nacional de Eficiência Energética

Segundo a REVISTA SUSTENTABILIDADE (2010), o Plano Nacional de Eficiência Energética está no estágio de consultas com empresas do setor energético, órgãos do governo e empresas de conservação de energia para a definição de seu conteúdo. O MME deverá anunciar o plano antes do final de 2010 com a meta de reduzir em 10% a demanda por eletricidade no país conforme os cenários traçados no PNE 2030. Entre os pontos cruciais estão a conscientização da população, do setor público e medidas que possam trazer

benefícios financeiros e fiscais. De acordo com o diretor do Departamento de Desenvolvimento Energético, Hamilton Moss, o Brasil teria menos urgência que outros países para implantar ações na área de eficiência energética, pois cerca de 70% da matriz elétrica e aproximadamente 48% da matriz energética total brasileira provém de fontes renováveis, conforme Tabela 4.

TABELA 4 – Empreendimentos em Operação – Capacidade Instalada até 12/2009
Fonte: ANEEL (2010)

Tipo	Quantidade	Potência (MW)	%
UHT - Usina Hidrelétrica de Energia	165	75.484	70,83%
UTE - Usina Termelétrica de Energia	1.313	25.350	23,79%
PCH - Pequena Central Hidrelétrica	356	2.953	2,77%
UTN - Usina Termonuclear	2	2.007	1,88%
EOL - Central Geradora Eolielétrica	36	602	0,56%
CGH - Central Geradora Hidrelétrica	307	173	0,16%
SOL - Central Geradora Solar Fotovoltaica	1	0	0,00%
SUBTOTAL	2.180	106.569	100,00%

Algumas tendências foram apontadas por Moss, que deveram ser consideradas para o plano brasileiro, elencando os principais pontos até então estudados: destaque para os leilões de eficiência energética, eficiência em residências e prédios públicos (cerca de 30 mil no Brasil), compras públicas de equipamentos com etiquetagem, estímulos para as indústrias, a inclusão do ensino de eficiência energética em graduação de engenharia e arquitetura, o investimento em pesquisa para desenvolver novas tecnologias e um alinhamento do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL com o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural – CONPET.

Entretanto, o plano enfrenta grandes barreiras, pois precisa estar coerente com as diretrizes que incluem modicidade tarifária (a garantia de que não haverá aumentos nas tarifas, o que limita a inclusão, nas contas de luz, de encargos destinados ao financiamento de ações do plano), o respeito a contratos anteriores, universalização do atendimento e integração sul-americana. Além disso, como aponta GAUDARD (2010), o plano estará alinhado com as

metas de redução de emissão de gases efeito estufa no plano nacional de combate às mudanças climáticas. O plano de eficiência energética, deve projetar 10% (20 anos) de economia até 2030. Ou seja, algo como 160 TWh que deixarão de ser consumidos.

Para a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Conservação de Energia - ABESCO isto é insignificante, haja vista, que será alcançado tal resultado apenas com a evolução natural da inovação dos equipamentos eletroeletrônicos, iluminação, informática, bens de capital e melhoria nas redes elétricas.

GAUDARD (2010) menciona que a postura dos órgãos reguladores brasileiros, até o presente momento, tem sido descoordenada e limitada para ações de eficiência energética. E, esquecendo a disposição que o planejamento estratégico poderia gerar de economia de energia. Além dos incentivos fiscais e o leilão de eficiência energética, o governo deveria pensar bem em descontos progressivos nas contas, em subsídios e financiamento subsidiado para estes programas e apoio para a inovação nesta área. Pois, o investimento em eficiência energética é sempre uma fração do investimento para construir novas usinas de geração. A UHE Belo Monte, com os seus 11 mil MW, vai custar R\$ 19 bilhões, e vai levar cinco anos para ser construída, contudo, se esse valor fosse investido em pesquisas e projetos de eficiência de maneira coordenada talvez não houvesse a necessidade da Belo Monte.

2.5.2.1. Leilão de Eficiência Energética

GARCIA (2008, p.54) descreve com propriedade a venda de eficiência energética:

A venda de eficiência energética, como opção de atendimento à expansão do mercado de energia elétrica, não é nova no mundo. Goldman e Kito (1995), [...], afirmam que estes contratos existem desde 1987 em vários estados dos EUA. O mecanismo de Certificados Brancos – CBs⁶, [...], acaba também criando um mecanismo de venda de eficiência energética, na medida em que o excesso/falta pode ser vendido/comprado no mercado, e as metas passam a ser incorporadas no planejamento da expansão. Este mecanismo já foi implantado em vários países da Europa (início em 2005) e outros o estão considerando seriamente (SCHAEFFER, 2006). A IEA – *International Energy Agency*, que mantém um programa de ações

⁶ Certificados Brancos: são papéis que comprovam que determinada quantidade de energia foi economizada, buscando atender a metas físicas de redução impostas às companhias de energia (ou a indústrias).

pelo lado da demanda⁷, elaborou um estudo sobre o “Desenvolvimento de Mecanismos para a Promoção de Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD e Eficiência Energética nos Novos Mercados de Eletricidade” (IEA, 2000), onde são abordados 25 mecanismos, entre eles um mecanismo de mercado conhecido como “Fontes Competitivas de Recursos pelo Lado da Demanda”, que “essencialmente funciona como um leilão para determinada proposta de recurso” (IEA, 2000, p. 279).

Em matéria do REPORTER ELETROBRÁS (2007), a ABESCO apontava que os projetos de eficiência energética podem acumular uma diminuição de 8% do consumo de eletricidade, que representaria à metade da geração de Itaipu, algo em torno de 29 milhões de MWh/ano. Essa redução de energia consumida com a eficientização reduziria a necessidade de novas usinas necessárias para a expansão do sistema elétrico. Os valores estimados pela EPE para os programas de eficiência energética, também são dessa grandeza, com redução da demanda na ponta de quatro mil MW até o final de 2010. A energia conservada seria em torno de 27 milhões de MWh/ano.

A EPE aspirando um maior uso e incentivo ao emprego eficiente de energia entre os consumidores industriais e comerciais sinalizou que os leilões voltados especificamente para a eficiência energética terão um caráter importante no Plano Nacional de Eficiência Energética. Dessa maneira, as reduções dos gastos (valores em megawatts) por meio de projetos de conservação poderão ser negociadas nestes eventos. Segundo o presidente da EPE, Maurício Tolmasquim, existiriam três alternativas que estão sendo analisadas pela empresa. Uma delas prevê a competição somente entre os melhores projetos de conservação; e outra promoveria uma disputa entre estes mesmos projetos e as novas usinas hidrelétricas. No entanto, tais medidas ainda apresentam certas falhas, haja vista, a medição e verificação da energia poupada nos projetos, o prazo dos contratos que seriam fechados nos leilões, o preço-teto para os megawatts conservados, os modelos de precificação⁸ que seriam adotados para o

⁷ O Programa de Gerenciamento pela Demanda da IEA – IEA Demand-Side Management Programme – é uma colaboração internacional de 18 países trabalhando em conjunto para desenvolver e promover oportunidades no gerenciamento pelo lado da demanda (IEA, 2007).

⁸ Precificação: Uma boa determinação de preços poderá levar uma empresa ao desenvolvimento e lucratividade, ao passo que uma má determinação poderá levar uma empresa até mesmo a

verdadeiro potencial de redução de consumo no país, e o detalhamento dos contratos a serem firmados.

Contudo o assessor da EPE, Agenor Garcia, onde elaborou estudos iniciais sobre leilões de eficiência energética, relatou em entrevista ao site REVISTA SUSTENTABILIDADE (2010), que a exemplo dos leilões nos Estados Unidos (*demand-side bidding*), nos anos 80, e experiências na Austrália, os leilões de eficiência energética funcionariam da seguinte maneira: as empresas e indústrias venderiam o seu potencial de redução de consumo e ESCOs poderiam oferecer a economia esperada de seus clientes para as distribuidoras de eletricidade que têm, por obrigação legal, firmar contratos de compra de energia equivalente a toda demanda de seus clientes em até cinco anos anterior à entrega. Garcia indicou que os contratos teriam de ser de longo prazo e esta redução de consumo seria uma alternativa à construção de novas usinas. E foram apontados por ele os maiores benefícios dos leilões: os vendedores teriam uma receita antecipada da economia a ser praticada ou as ESCOs poderiam se capitalizar, podendo investir em pesquisas, e o comprador teria acesso à energia mais barata.

Segundo GELLER (2006), as licitações de eficiência adotadas nos Estados Unidos, tiveram a presença de 35 concessionárias e geraram uma economia média de 480MW, entre 1987 e 1995, com contratos de aproximadamente 12 anos. Grande parte dos projetos implementados pelas ESCOs e voltados para área de iluminação. Para Geller, os leilões podem funcionar no Brasil, mas o ideal será uma concorrência apenas entre os projetos de conservação, sem a concorrência dos projetos de novas usinas. Ainda de acordo com o professor, em 2006, o orçamento destinado nos Estados Unidos para os projetos de eficiência energética chegaram a US\$2 bilhões.

falência. O preço é um valor arbitrado para um bem ou um serviço. Qualquer transação de negócio envolve um valor monetário que é a precificação.

2.6. *Energy Service Companies – ESCOs*⁹

As ESCOs atuam no mercado de eficiência energética utilizando-se de recursos próprios, intermediando verbas do governo e iniciativa privada, e contratos de performance com seus clientes. Esses acordos firmados entre a ESCO e o cliente/indústria são denominados de contrato de desempenho (do inglês *performance contracts*). Os objetivos das ações das ESCOs a partir do estabelecimento de parceria são reduzir os custos no consumo de energia e partilhar os resultados obtidos. Os investimentos feitos são pagos à medida que a energia começa a ser economizada. Conforme MENKES (2004), a economia é dividida em três partes: uma para o pagamento dos serviços da ESCO, outra para o custeio do projeto e a terceira é o benefício para a empresa contratante. As ESCOs têm o conhecimento necessário para aproveitar ao máximo as oportunidades de eficiência energética numa empresa. Geralmente atuam como gestores de projeto para uma grande variedade de tarefas associadas à realização de melhorias e, normalmente, oferecem os seguintes serviços:

- Identificar e avaliar oportunidades de economia de energia;
- Garantir que a economia de energia irá cobrir todos os custos do projeto;
- Criar o programa de eficiência energética;
- Gerenciar o projeto desde a concepção à instalação completa do sistema novo
- Buscar financiamentos quando houver necessidade.

Outro componente dos projetos realizados por uma ESCO é a educação dos clientes sobre os padrões de utilização da própria energia, a fim de desenvolver uma parceria de eficiência energética com o cliente. Com a finalidade principal de ajudar o cliente a entender como seu uso de energia está relacionado com a atividade que ele exerce. A maioria dos

⁹ Nos EUA, *Energy Service Companies*, que prestam serviços de eficiência energética, e no Brasil, adotou-se a mesma sigla, mas o significado é *Empresa de Serviços de Energia*, conforme o Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE.

projetos de eficiência energética tem como base o desempenho, incluem nisso a manutenção total ou parcial dos equipamentos de alta potência durante o período de contrato. O custo dessa manutenção é cobrado durante o período contratual. Portanto, durante a vigência do contrato, o cliente recebe o benefício dos custos a menor. Mas, em contra partida, como serviço adicional, na maioria dos contratos, a ESCO oferece treinamento especializado para o cliente e o pessoal de manutenção que irá assumir o papel dos especialistas no final do contrato.

Segundo GARCIA (2008), o mercado das empresas de conservação de energia nos Estados Unidos movimentou cerca de US\$ 2 bilhões, no ano de 2001, o restante dos países os valores estão na Tabela 5, onde o Brasil aparece em quinta lugar.

TABELA 5 – ESCOs por país e faturamento (2001)
Fonte: GARCIA (2008)

País	1ª ESCO	Nº ESCOs	US\$ projetos
Alemanha	1990-1995	1000	US\$ 150 milhões
Canadá	1982	5	US\$ 100 milhões
Japão	1997	21	US\$ 61,7 milhões
China	1995	23	US\$ 49,7 milhões
Brasil ¹⁰	1992	60	US\$ 100 milhões
Austrália	1990	8	US\$ 25 milhões
Coréia	1992	158	US\$ 20 milhões
Áustria	1995	25	US\$ 7 milhões
Estônia	1986	20	US\$ 3 milhões
Jordânia	1994	1	US\$ 2 milhões
República Tcheca	1993	3	US\$ 1,5 milhões
Finlândia	2000	4	US\$ 0,75 milhões
Índia	1994	8	US\$ 0,75 milhões
Argentina	1990	5	US\$ 0,5 milhões
Costa do Marfim	2000	4	US\$ 250 mil
Chile	1996	3	US\$ 200 mil
Colômbia	1997	3	Menos de US\$ 200 mil
Gana	1996	3	Menos de US\$ 100 mil
Quênia	1997	2	Menos de US\$ 10 mil
Itália	1980	20	Não sabe

¹⁰ O Brasil aparece em quinto lugar, pois, sua média de faturamento é de US\$ 30 milhões. Os US\$ 100 milhões, em 2001, são justificados pela ocorrência do Apagão.

O PEE alavancou o setor para as distribuidoras, que movimentam mais de 300 milhões de reais por ano, e isso deve-se parte às ESCOs, conforme Tabela 1 vista anteriormente. Entretanto, as ESCOs brasileiras ainda sofrem preconceito e pouca visibilidade de mercado. As maiores têm vínculo direto às concessionárias e a grande maioria apenas pequenas empresas formadas por engenheiros. Embora, tanto o setor privado como o público tenham a possibilidade de se beneficiar dos contratos de performance com as ESCOs, são os governos que utilizam mundialmente em maior escala.

2.6.1. Contratos de Desempenho

O *Energy Savings Performance Contract* - ESPC define-se como contrato em que o executor é responsável pelo projeto, implementação, instalação, manutenção e, se necessário, obtenção do financiamento para uma solução de eficiência energética. A ESCO recebe da entidade empreendedora uma percentagem das mais-valias geradas (pode ir até 100% durante o período de contrato). O projeto e os equipamentos utilizados ficam sob responsabilidade da ESCO até o final do ESPC, onde então se reverte a favor da entidade contratante.

Os contratos de desempenho, MENKES (2004), *Super Performance Contracts* (**Super ESPCs**)¹¹ – qualquer unidade federativa dentro dos EUA pode ser otimizada para reduzir o uso e os custos da energia. Essa otimização é feita por ESCOs contratadas por meio de concorrências públicas. Estas financiam as instalações eficientes e em troca recebem parte do valor economizado. Os contratos efetuados com as ESCOs incluem doze tecnologias, entre elas, iluminação, ventilação, ar condicionado, motores e sistemas de aquecimento através de energia solar. O investimento anual do Governo Federal para essa finalidade atinge cerca de US\$ 500 milhões. Estima-se a economia do dobro desse valor na conta de energia.

¹¹ Segundo MENKES (2004), *Energy Savings Performance Contracts*, no qual as agências federais contratam as ESCOs para instalarem sistemas e componentes energeticamente eficientes. O pagamento dessas instalações é realizado com a economia gerada pelos novos sistemas.

Os contratos de desempenho permitem financiar projetos que aumentem a eficiência energética das instalações com a economia futura de energia. Os pagamentos dos contratos baseiam-se em satisfazer objetivos específicos – poupança de energia. A ESCO elabora um projeto para um potencial cliente com base em medidas de economia e redução dos gastos de energia elétrica, a partir das medidas aprovadas, sem qualquer despesa de capital para o cliente, se dá garantia de retorno dos custos do projeto. Um dos aspectos mais atraentes dos contratos de performance é que ele permite que seja usado o custo de energia prevista para os próximos anos no início da implantação do projeto de eficiência. Outra opção de contrato é a divisão da economia entre a ESCO e o contratante, conforme Figura 12, alterando dessa maneira o período de retorno do capital investido no projeto.

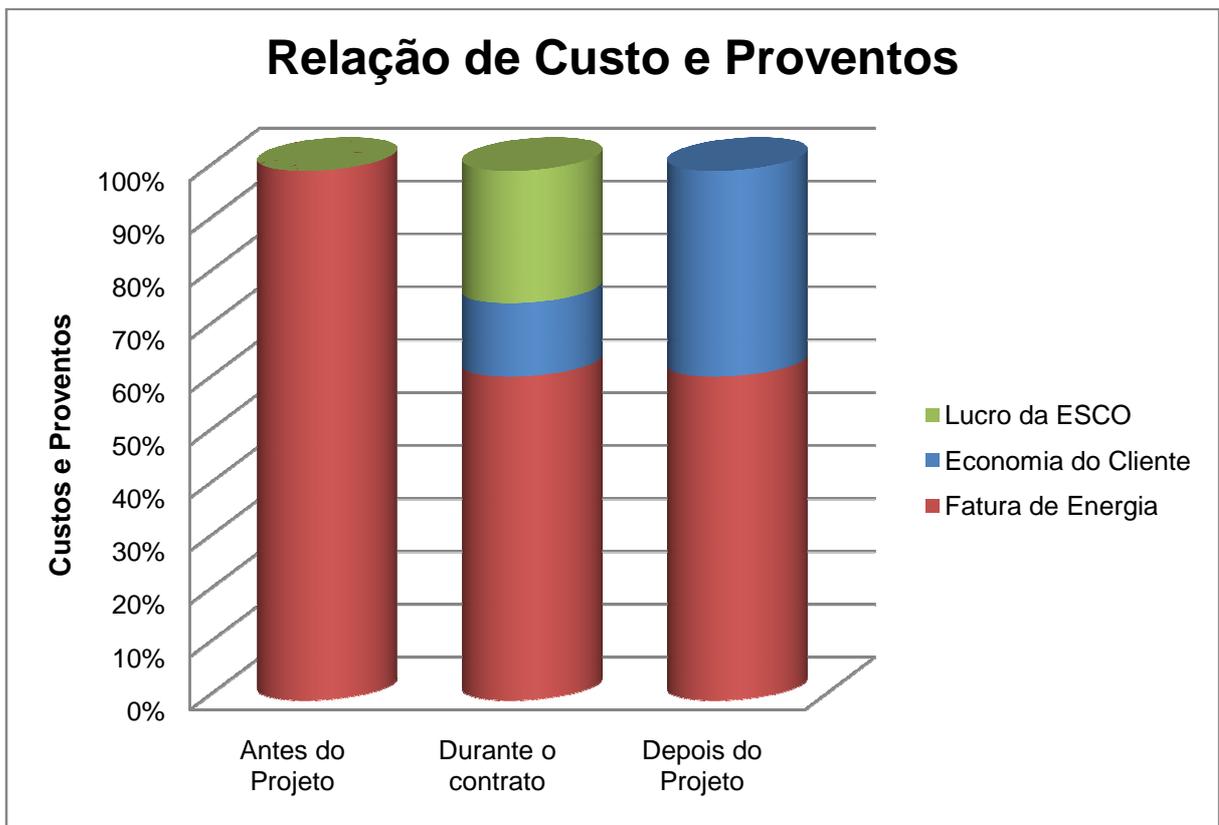


FIGURA 12 – Relação de custos e proventos entre ESCOs e contratantes.
 Fonte: Elaboração própria

2.6.2. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia – ABESCO

A associação originou-se em 1997, com a participação de 15 associados, para representar as empresas inseridas no mercado de eficiência, fomentando e promovendo ações e projetos para o crescimento do mercado energético. Hoje em dia, conta com mais de 80 empresas associadas, que busca congrega e suprir as ações das ESCOs brasileiras. Com o intuito de oferecer à sociedade um serviço especializado em projetos de eficiência, minimizando custos e maximizando os resultados nos lucros.

2.6.3. Apoio a Projetos de Eficiência Energética – PROESCO

A necessidade de criação de mecanismos que facilitassem o financiamento dos projetos e contratos de performance elaborados pelas ESCOs, aliados a uma crescente cultura ambientalista e o amadurecimento do setor de eficiência energética, foram as causa imediatas para alavancar o PROESCO. Criado, em 2006, com a parceria técnica da ABESCO com o respaldo do MME e o aporte financeiro do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Apoiando projetos de combate ao desperdício e de racionalização do uso de energia e se destina a empresas públicas ou privadas que apresentem projetos de implantação de equipamentos e procedimentos, cujos resultados levem à maior eficiência energética. Foi aberta uma linha de crédito de R\$100 milhões para as ESCOs utilizarem em contratos e projetos, com prazo total de até 72 meses, incluído o prazo máximo de carência de 24 meses, operando em três modalidades: risco compartilhado entre o BNDES e instituições financeiras mandatárias; operação indireta, onde o agente financeiro assume integralmente o valor financeiro e os riscos de crédito; e operação direta (realizada diretamente com o BNDES). Nas operações de risco compartilhado, o BNDES poderá se responsabilizar por até 80% do risco da operação, devendo os agentes financeiros assumir, no mínimo, 20%. Os agentes

financeiros deverão, obrigatoriamente, exigir como garantia dos financiamentos a fiança dos controladores da ESCO e o penhor dos direitos creditórios decorrentes do contrato de prestação de serviços da ESCO com o seu cliente.

Dentre os focos de ação possíveis, destacam-se os seguintes:

- Iluminação;
- Motores;
- Otimização de Processos;
- Ar condicionado e ventilação;
- Refrigeração e resfriamento;
- Melhoria da qualidade de energia, inclusive correção do fator de potência;
- Redução da demanda no horário de ponta do consumo do sistema elétrico.

O PROESCO não abrange como itens financiáveis a aquisição ou arrendamento de bens imóveis e benfeitorias e aquisição de máquinas e equipamentos usados. A chamada Medição e Verificação – M&V realiza, depois da implantação do projeto, comprovação das premissas e a própria redução de consumo e dos custos do projeto. Tal monitoramento é previsto no contrato de desempenho celebrado entre o empreendedor e uma ESCO para auferir a economia nos custos com energia e, sobre ela, remunerar com uma porcentagem por um período determinado, os serviços de obras, projetos, tecnologias e logística da empresa contratada para tal.

2.7. ISO 50.001 Norma Internacional de gestão de Energia

A necessidade de eliminar os problemas críticos relacionados a Energia, como:

- Segurança;
- Crescimento sustentável;
- Integração regional; e

- Mudanças Climáticas.

Foram os motivos para elaboração da ISO 50.001, uma norma internacional de gestão de energia. O objetivo da norma é permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos necessários para melhorar de forma contínua o desempenho energético. O que deverá oferecer às organizações estratégias e técnicas de Eficiência Energética, de redução de custos e diminuição das emissões de gases e outros impactos ao meio ambiente através do gerenciamento sistemático da energia. Estabelecerá um padrão único para o sistema de gestão de energia, com a criação da norma, ajudando as empresas multinacionais no uso de energia. Outro ponto positivo é a comunicação com transparência sobre gestão de recursos energéticos que serve de referência para *benchmarking*¹², e na medição e documentação quanto à intensidade energética. E, também facilitará a integração com outros sistemas de gestão, como por exemplo, ambiental, saúde e segurança. Sua publicação esta prevista para o final de 2010 ou início de 2011. A criação da norma teve como foco a indústria, contudo, decidiu-se, posteriormente, abranger todas as empresas independente do tamanho ou atividade. Visto que, trará uma maior disponibilidade de energia no mercado, aumentando a competitividade das organizações e um impacto positivo considerável nas mudanças climáticas. As empresas deveram mapear seu perfil energético para entender onde e como a energia está sendo usada, e a partir disso, identificar oportunidades de redução com indicadores de desempenho claros para que seja possível mensurar os resultados a serem alcançados (PROCEL INFO, 2010).

¹² *Benchmarking*: é uma técnica que consiste em acompanhar processos de organizações concorrentes ou não, que sejam reconhecidas como representantes das melhores práticas administrativas. É um processo de pesquisa, contínuo e sistemático, para avaliar produtos, serviços e métodos de trabalhos, procurando a superioridade competitiva.

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS

O uso de energia elétrica em prédios públicos está vinculado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados, às suas características arquitetônicas, ao clima local, à atividade a que se destina ao comportamento e ao grau de consciência dos usuários para o uso adequado e racional da energia (MAGALHÃES, 2001).

3.1. Consumo de Energia Elétrica no Brasil

Com base no PNE 2030 (MME: EPE, 2007), em 2030, chegou-se ao valor de 1.083,4 TWh consumidos de energia elétrica no Brasil. Representando um crescimento anual desse consumo, a contar de 2005, em aproximadamente 4%. Para tanto, a estratégia de atendimento leva em consideração iniciativas em eficiência energética (além das tendências naturais de consumo de equipamentos e processos eficientes) para atender toda essa demanda. A Figura 13 apresenta uma projeção da oferta de energia elétrica para 2030, onde se apresenta a eficiência energética como parte da geração necessária para a futura demanda de eletricidade no Brasil. A Tabela 6 aponta o balanço da eletricidade e seus principais indicadores com base nas projeções do PNE 2030 e seus cenários econômicos possíveis para o Brasil e o mundo. A energia hidráulica manterá elevada proporção, em 2030, pouco mais de 70%, mas isso significará uma queda de mais de 20% com relação a 2005. Outro fator importante apresentado é a expansão da geração térmica convencional (nuclear, gás natural e carvão mineral) de 7% para cerca de 15%. As fontes renováveis apresentam crescimento expressivo e passaram a responder por mais de 4% da oferta interna de eletricidade.

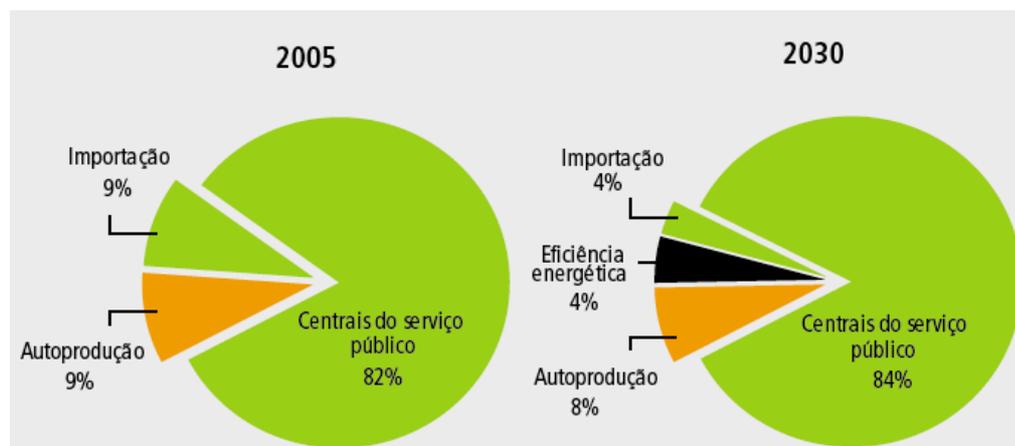


FIGURA 13 - Estrutura de oferta de eletricidade (%)
Fonte: PNE 2030 (MME: EPE, 2007)

TABELA 6 – Eletricidade: Indicadores (em TWh)
Fonte: PNE2030 (MME: EPE, 2007, p. 180)

	2005	2010	2020	2030
Balanco Geral				
Oferta interna	441,9	572,1	826,6	1194,9
Produção	402,9	533,4	782,5	1151
Importação líquida	39	38,7	43,9	43,9
Consumo Total	375,2	486,2	706,6	1030,1
Perdas	15,1%	15,0%	14,5%	13,8%
Produção				
Centrais de serviço público	363,1	496,0	719,3	1055,8
Hidráulica	334,1	395,0	585,7	817,6
Nuclear	9,9	15,0	30,5	51,6
Carvão mineral	6,1	13,0	15,6	31,4
Gás natural	13,9	5834,0	61,5	92,1
Biomassa da Cana	0,0	1,1	14,6	33,5
Centrais eólicas	0,9	3,6	5,0	10,3
Resíduos urbanos	0,0	0,0	1,0	6,8
Outras fontes	7,2	9,9	5,4	12,5
Autoprodução	30,8	37,4	63,2	95,2
Consumo¹³				
Agropecuário	15,7	17,7	24,2	24,8
Comercial/Público	86,2	107,3	159,6	267,3
Industrial	175,4	237,0	338,3	455,5
Residencial	83,2	105,3	169,1	283,3
Outros	1,2	2,3	1,9	3,5
Programa de Conservação¹⁴	0,0	0,0	-12,2	-53,3

¹³ A projeção do consumo inclui o progresso autônomo de conservação de EE.

¹⁴ Programa de conservação induzido

3.2. Distribuição dos Prédios Públicos Federais

Na Resolução 456/2000 da ANEEL foi estabelecido, no capítulo “Da Classificação e Cadastro”, que as concessionárias classificarão as unidades consumidoras de acordo com a atividade exercida, e desse modo, definido o enquadramento tarifário para o poder público.

No Artigo 20 ficaram dispostas as classes:

- Poder Público
 - a) Poder Público Federal;
 - b) Poder Público Estadual ou Distrital; e
 - c) Poder Público Municipal.
- Iluminação Pública
- Serviço Público
 - a) Tração Elétrica; e
 - b) Água, Esgoto e Saneamento.
- Consumo Próprio
 - a) Próprio;
 - b) Canteiro de Obras; e
 - c) Interno.

De acordo com RIBEIRO, D. et al. (2004), os prédios públicos federais tem seu controle atribuído ao Ministério do Planejamento e suas secretarias. A Secretaria de Patrimônio da União – SPU e a Secretaria de Orçamento Federal – SOF são responsáveis, respectivamente, por questões patrimoniais e orçamentárias e cabe a Secretaria de Gestão o papel de buscar políticas para reforma e modernização do aparelho do Estado. O Quadro 2 apresenta o quantitativo de imóveis, com base nos dados e classificação adotada pela Gerência de Próprios Nacionais, cujas características apresentam maior potencialidade de efficientização para atuação de efficientização por ESCOs.

Aeroporto	159	Fábrica	11
Armazém	162	Faculdade	41
Autarquia	69	Fundações	5
Base	75	Hospital	288
Biblioteca	11	Hotel	20
Colégio	17	Laboratório	26
Complexo	83	Parque	38
Conjunto	89	Porto	11
Edifício	765	Prédio	1881
Embaixada	0	Presídio	1
Empresa	2	Quartel	405
Escola	213	Teatro	13
Estação	46	Universidade	98
Estádio	3	Outros	735
Estaleiro	2	TOTAL	5269

QUADRO 2– Tipos de Imóveis
Fonte: Adaptado de RIBEIRO, D. et al. (2004)

Ao perceber essa diversidade de tipos devem-se avaliar quais efetivamente possuem potencial de redução de consumo, quanto corresponde esta economia diante de um possível investimento, suas localizações, quantidade e disponibilidade para os serviços. Constatou-se que os prédios com maior potencial de eficiência são da esfera federal chegando próximo de 60% do total de imóveis, segundo RIBEIRO, D. et al. (2004). No mercado de energia classificado como poderes públicos constam os prédios públicos federais e o seu consumo é apresentado na Figura 14. Com base nos dados inferiu-se que o consumo anual correspondente aos setores públicos atingiu no ano de 2009 o montante de 36.698 GWh, que corresponde a 11,3 bilhões de Reais levando em consideração que a tarifa média para a classe de consumo do poder público esta em torno de 308,19 R\$/MWh (ANEEL, 2010).

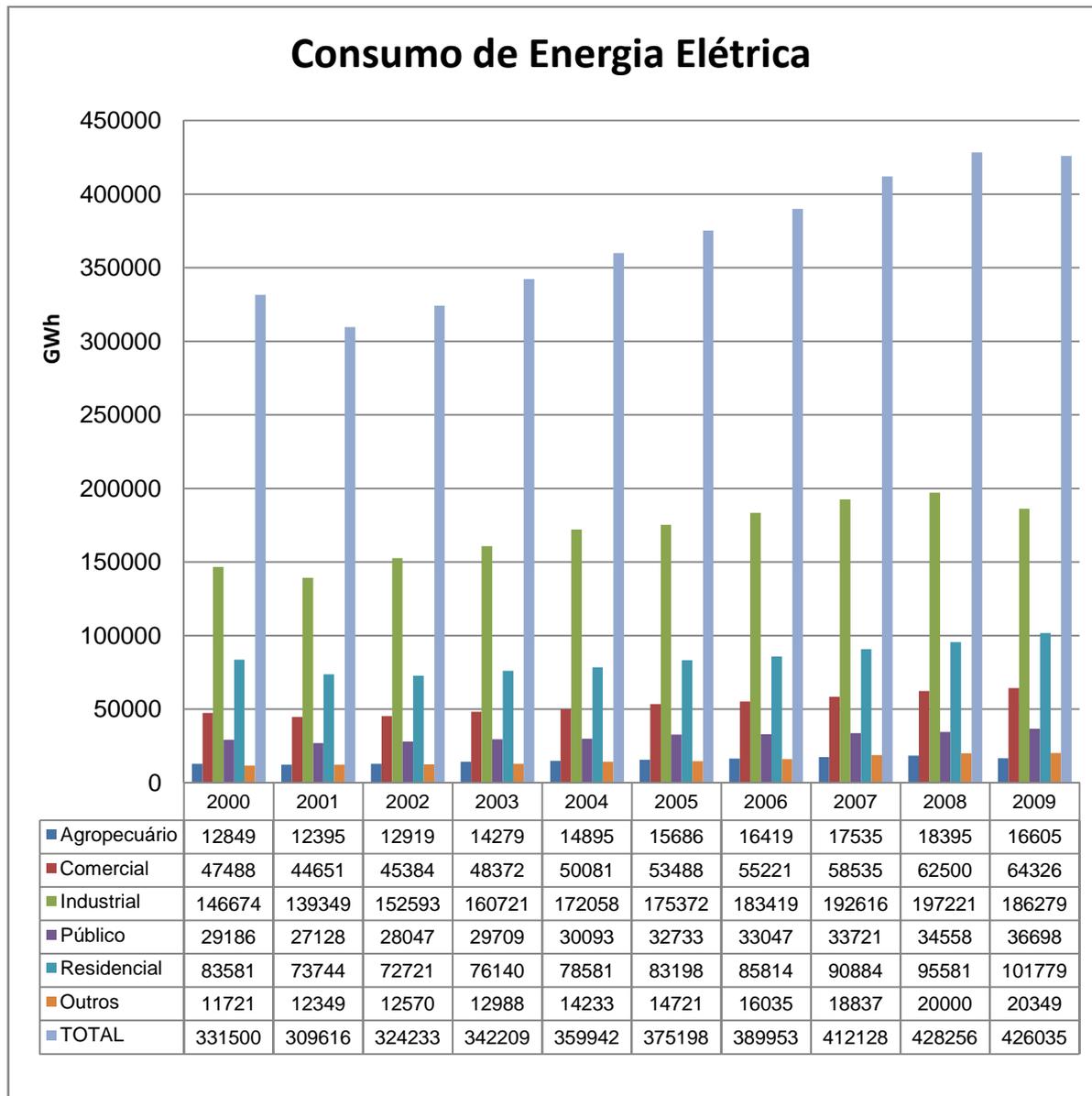


FIGURA 14 – Consumo de Energia Elétrica no Sistema Interligado Brasileiro
Fonte: ANEEL (2010)

3.3. Mercado em potencial

No ano de 2008 foi apresentado o relatório PRÉDIOS PÚBLICOS – ALTA TENSÃO (2008), e sua realização foi uma parceria entre Eletrobrás e PROCEL (ELETROBRÁS / PROCEL, 2008). Com objetivo de obter informações para formar uma adequada concepção do mercado de eficiência energética e avaliar os efeitos das ações do PROCEL. A avaliação foi realizada por pesquisa em consumidores, do sub-grupo de tensão A4, no setor público de todo o Brasil, entre os anos de 2005 e 2006. Dessa forma, o relatório contém informações da

utilização de energia nas instalações de prédios públicos nas áreas de concessão da COPEL, CELESC CEEE, RGE, AMPLA, CPFL, ELETROPAULO, LIGHT, CEMIG, COELCE, CELPE, COELBA, CEMAR, COSERN, CELPA, CERON, MANAUS, CEB, CEMAT e CELG, que compuseram as cinco regiões do país. Obteve-se uma participação efetiva nas pesquisas de 102 prédios públicos, que se considerando as esferas da administração pública, a distribuição dos prédios públicos federais atingiu cerca de 35% dos prédios públicos pesquisados. Levando em consideração o apontamento do relatório, que 35% da classe poderes públicos corresponderiam ao governo federal, chega-se no valor de 3,99 bilhões de Reais, que poderiam alcançar a eficácia. As idades das instalações, em prédios públicos federais pesquisados, estão com a média acima de 24 anos e isso configura, teoricamente, consumidores com instalações menos eficientes. Outro importante aspecto da pesquisa é o Fator de Carga – FC¹⁵ apresentado, no Quadro 3, correlacionado com os setores de atividades, com valores, que além de aumentar o preço médio pago pela energia consumida, refletem a um baixo aproveitamento da instalação elétrica.

Tipo de Instalação	FC Geral (média)
Administração pública em geral	0,41
Regulação das atividades sociais e culturais	0,40
Regulação das atividades econômicas	0,45
Atividades de apoio a administração pública	0,34
Defesa	0,45
Justiça	0,28
Segurança e ordem pública	0,19
Seguridade social	0,46
TOTAL	0,40

QUADRO 3– Fator de Carga geral dos tipos de instalação (média)

Fonte: ELETROBRÁS / PROCEL, (2008, p. 7)

¹⁵ Fator de Carga: índice, que varia entre zero e um, demonstrando se a energia consumida é utilizada de maneira racional e econômica.

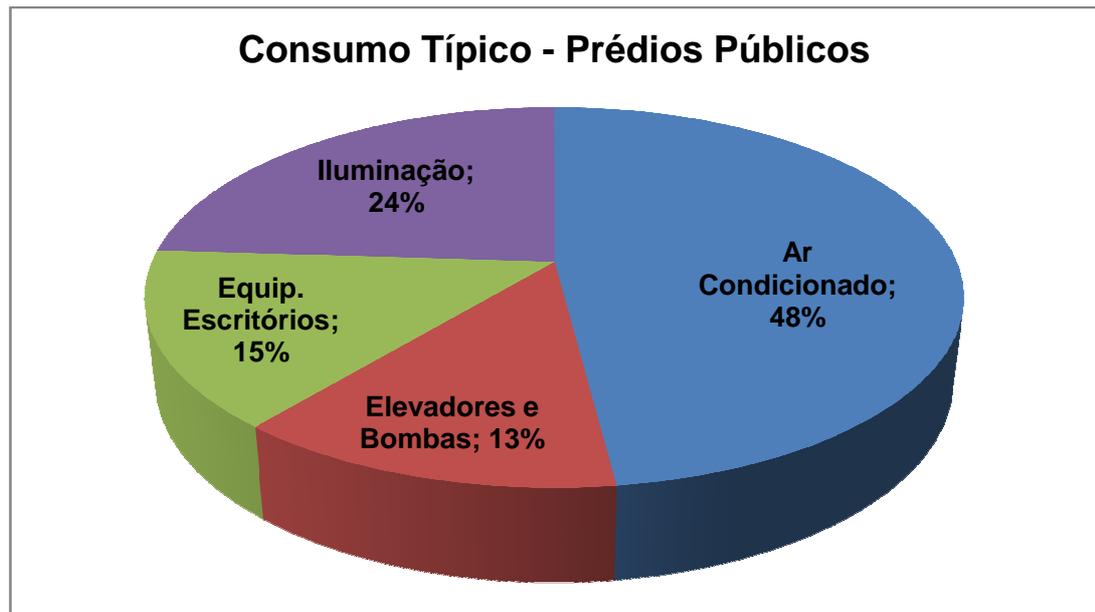


FIGURA 15 – Estrutura típica de consumo em prédios públicos
Fonte: MAGALHÃES (2001, p. 11)

O consumo de energia elétrica em um prédio público se estrutura, de acordo com MAGALHÃES (2010, p. 11), conforme Figura 15. Com exceção dos equipamentos de escritório, a ESCO poderia atuar no restante das cargas do edifício, que representa 85% do total instalado. Prevendo uma redução no consumo de 15% a 35% com o projeto de eficiência energética, pode-se afirmar que a redução dos gastos chegará em torno de 508 milhões de Reais com período de retorno de 7 anos. Portanto, este também seria o montante a ser aplicado em um programa de conservação de energia de prédios públicos federais, com potencial de atuação em 100% dos edifícios. A projeção do valor do projeto viável para atuação de uma ESCO estará atrelado ao mercado, dependendo da disponibilidade de empresas capacitadas na região do empreendimento, do potencial de redução do consumo de energia e, paralelamente, o retorno do projeto.

A distribuição da destinação dos prédios públicos ordenados pela incidência levando em consideração apenas os casos com potencial de conservação de energia e, portanto, passíveis de serviço para ESCO. Nesta etapa, faz necessária, a obtenção de dados mais específicos a respeito do consumo de energia de cada categoria, pois dessa maneira será

possível uma avaliação mais precisa do retorno econômico de cada classe, conforme Figura 16.

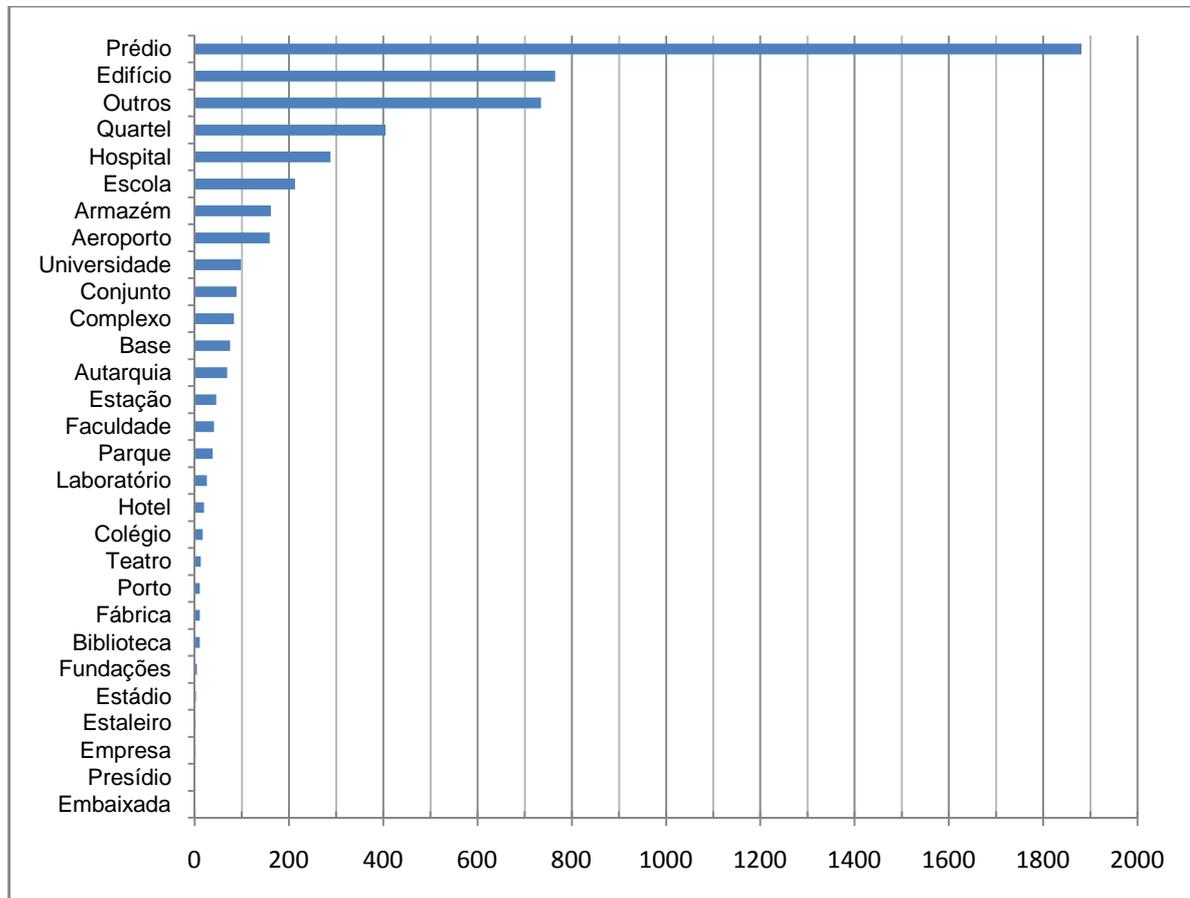


FIGURA 16 – Distribuição por classes dos imóveis públicos
 Fonte: Elaboração própria com base no Quadro 2 (RIBEIRO, *et al.*, 2004).

A incidência das classes dará a prioridade nas ações de eficiência energética, para dessa maneira, adotar-se programas e ações homogêneas para os prédios. Utilizando como fator de corte 90 unidades limitaríamos as seguintes classes adjacentes:

- Prédios e Edifícios;
- Quartéis e Bases;
- Hospitais;
- Escolas;
- Armazéns;
- Aeroporto;
- Universidade;

3.4. PROCEL EPP

O Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos – EPP foi instituído em 1997 pela ELETROBRÁS/PROCEL a fim de promover a eficiência energética nos prédios públicos nos níveis federal, estadual e municipal. O programa visa à implementação de medidas de eficiência energética e a difusão da informação juntos aos agentes envolvidos com a administração pública. Para isso, os prédios públicos devem promover:

- A economia de energia;
- A melhoria na qualidade nos sistemas de iluminação, refrigeração, forças-motrizes e demais sistemas relevantes que visem à redução dos gastos com energia elétrica;
- Investimentos em tecnologias nos laboratórios de pesquisa voltados para este segmento.

Conforme dados apresentados por AKAMATSU (2008), até 2008, o EPP já havia contemplado com projetos de conservação de energia:

- 10 hospitais públicos;
- 25 prédios públicos administrativos;
- 5 laboratórios foram capacitados; e
- 1652 pessoas foram habilitadas em eficiência energética.

Através da Resolução 176/2005 da ANEEL, as concessionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar, no mínimo, 0,25 % do seu faturamento anual em programas para incremento da eficiência energética no uso final de energia elétrica. Desse modo, ficou aberto o diálogo entre os administradores, que têm interesse em iniciar Programas de Eficiência Energética em seus prédios, e suas concessionárias de energia para inclusão neste programa. Aliado a isso há um fundo do setor elétrico, chamado Reserva Global de Reversão – RGR, que empresta recursos as concessionárias. Como foi dito no capítulo anterior, é

possível celebrar um contrato de performance com uma ESCO, onde os recursos advindos da economia no consumo de energia seriam a forma de pagamento do projeto. Portanto, sem a necessidade de investimento de capital direto na conservação de energia apenas com base na avaliação econômica das medidas necessárias.

3.5. PROCEL EDIFICA

Visando a atender e dar suporte a aplicação da Lei 10.295/2001, que estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, foi criado, em 2003, o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações - EDIFICA. Onde se busca por meio da regulamentação a eficiência energética das edificações brasileiras (EEE). Devido à abrangência do programa em diversos setores de atividades econômicas do Brasil, o EDIFICA, promove condições para o uso eficiente da eletricidade nas edificações residências, comerciais, de serviço e públicas. O que de maneira direta leva a redução dos desperdícios de energia, de materiais, e os impactos sobre o meio ambiente. Para o biênio de 2009/2010 estão previstos investimentos na ordem de R\$ 3 milhões no EDIFICA.

De acordo com o *site* EDIFICA (2010), o programa visa o desenvolvimento dos projetos com metas em:

- Investimento na capacitação tecnológica e profissional;
- Aproximação com parceiros ligados aos diversos segmentos da construção civil; e
- Disseminação dos conceitos e práticas de EEE.

O consumo de eletricidade nas edificações corresponde a cerca de 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução de consumo em 30% para aquelas que promoverem *retrofit* e de 50% para as novas edificações, contudo custam de 5% a 7% a mais que os tradicionais, e que contemplem os conceitos de EEE.

3.5.1. Etiquetagem de EEE

Em uma das vertentes de ação do EDIFICA – Subsídios à Regulamentação – são determinados os parâmetros referenciais para a verificação do nível de EEE. Para tanto, desenvolveu-se dois regulamentos, publicados pelo INMETRO, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C e o Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RAC-C, e também, o Manual para aplicação do RTQ-C.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE é obtida através de avaliação dos requisitos contidos no RTQ-C usando o método descrito no RAC-C. A etiquetagem do edifício é aplicável a edifícios com área útil superior a 500 m² ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A). A etiqueta se aplica somente a edifícios comerciais e públicos, que são analisados a partir de três características: sistema de iluminação; condicionamento de ar; e envoltória (análise de fachada, áreas de vidro, janelas, etc). Para cada um dos pré-requisitos é dada uma classificação, que vai de ‘A’ a ‘E’, dependendo do nível de eficiência energética da edificação. A média ponderada das três notas determina a classificação final do prédio. O sistema de ar-condicionado, por ser um dos que mais consomem energia, tem peso 4, e os demais, peso 3.

Conforme, BARBOSA (2010), a adesão ao programa é voluntária. Mas, não por muito tempo, pois se pretende tornar obrigatória a etiquetagem energética dos edifícios, assim como acontece com alguns equipamentos elétricos. O apelo econômico da etiquetagem revelou-se o canal mais efetivo para aumentar a adesão dos empresários do setor de construção civil. Devido à Copa de 2014 e as Olimpíadas de 2016, o BNDES, lançou uma linha de crédito para construção de hotéis ou para reforma de empreendimentos hoteleiros, que possui como

3.6. Programa de Energia Inteligente (*Intelligent Energy Programme – IEP*)

O IEP financiou o *Dissemination of Energy Efficiency Measures in the Public Buildings Sector – DEEP*, para incentivar padrões mais elevados de eficiência energética no setor de prédios públicos europeus, que contou com a participação de onze países entre eles Alemanha, Itália, Espanha e França. Durante o projeto foram desenvolvidas ferramentas práticas tais como:

- Diretrizes para a aquisição e reforma de edifícios;
- Critérios para a compra de energia verde¹⁶, haja vista, que o setor público é responsável por cerca de 7% do consumo de eletricidade na Europa;
- Produtos com alto índice de eficiência destinados a escritórios;
- Orientação para o desenvolvimento de políticas de eficiência energética, ferramentas para integração do ciclo de vida-custo (*life-cycle costing – LCC*) nos processos de compras;
- A constatação de que 40% do consumo final de energia na Comunidade Européia se devem aos edifícios.

E, seria possível uma redução de 42% na emissão de CO₂ e nos custos relacionados com a energia apenas melhorando a conservação de energia nos prédios públicos. Para contribuir com a eficiência energética e a compra de energia verde, o DEEP, apoio na orientação do desenvolvimento de uma política de contratação de energia eficiente e criou o SASEATO que é uma ferramenta para realização de uma auditoria de consumo de energia em prédios públicos. Somado a isso foi criado o guia, Procura⁺ Manual, uma iniciativa concebida para apoiar as autoridades públicas na implementação de aquisições sustentáveis e a promover suas realizações, pois, os gastos com produtos e serviços chegam a 16% do PIB da União Européia (ICLEI, 2010).

¹⁶ Energia Verde: é a energia produzida com menor impacto ao meio ambiente do que as fontes de energia a base do petróleo. As suas fontes geralmente são eólica, solar, geotérmica, hidrelétrica e nuclear.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para uma melhor compreensão dos termos utilizados em projetos de eficiência energética de prédios públicos e comerciais, que é o objetivo do estudo de caso, serão apresentadas neste capítulo, as definições, teorias e características de luminotécnica, análise tarifária, correção de fator de potência e climatização de ambientes.

4.1. Luminotécnica

É o estudo da aplicação de iluminação artificial tanto em espaços interiores como exteriores. A utilização racional da iluminação elétrica tem como destaque: as influências benéficas sobre o sistema nervoso vegetativo, que comanda o metabolismo e as funções do corpo, bem estar e segurança. Além disso, a maior parte dos investimentos em conservação de energia do mundo vem da indústria da iluminação (SANTOS, 2001).

4.1.1. Conceitos Básicos

4.1.1.1. Luz

Durante séculos, a luz intrigou a humanidade. As teorias primitivas consideravam a luz como algo que emanava da vista. Depois, percebeu-se que a luz devia provir dos corpos que eram visíveis e entrar no globo ocular, provocando a sensação da visão. O problema de saber se a luz era constituída por um feixe de partículas, ou era uma espécie particular de movimento ondulatório, é um dos problemas mais interessantes da história da ciência. (TIPLER, 1995, p. 28)

Das diversas características da luz somente as de interesse luminotécnico serão abordadas a seguir. Pois, do espectro eletromagnético o olho humano detecta apenas a faixa de comprimento de onda de valores entre 380 e 780 nm¹⁷. Esses limites visíveis estão limitados, em um extremo pelas radiações infravermelhas (de maior comprimento de onda) e

¹⁷ 1 nanometro [nm] = 10⁻⁹ metros [m], de acordo com o Sistema Internacional de Unidades – SI.

no outro, pelas radiações ultravioletas (de menor comprimento de onda), conforme pode ser visto pela Figura 18.

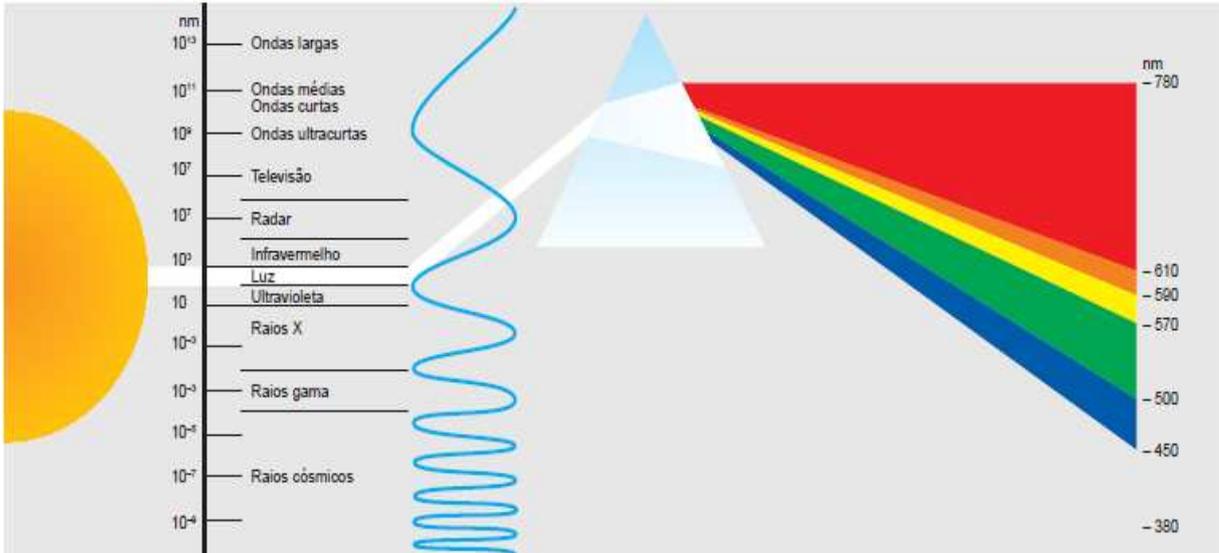


FIGURA 18 – Espectro eletromagnético.
Fonte: OSRAM (2000)

A sensibilidade visual varia de acordo com o comprimento de onda, mas também com a luminosidade. A curva de sensibilidade do olho humano, Figura 19, demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram menor intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz, enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário.

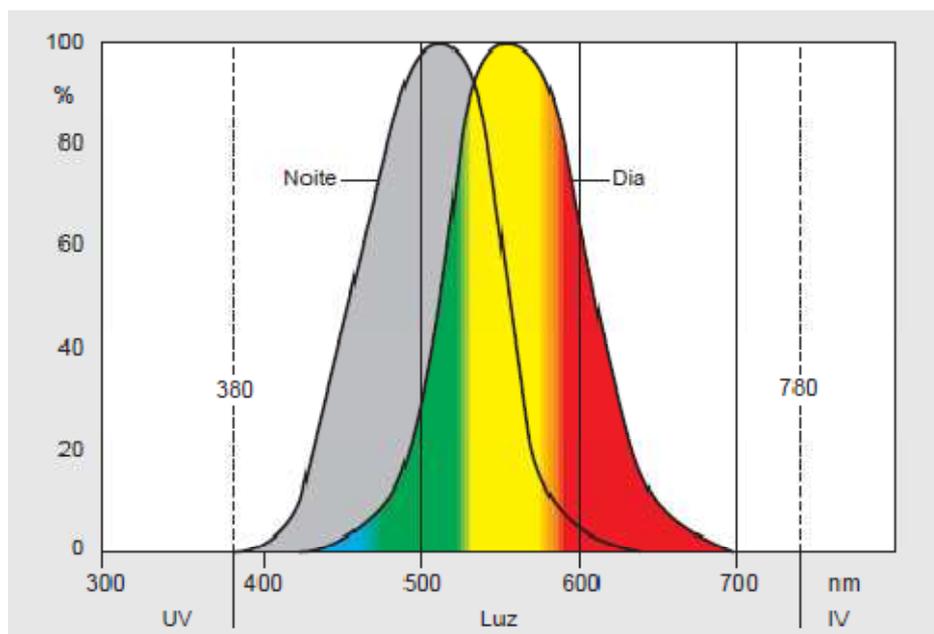


FIGURA 19 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas.
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.2. Conceitos e Grandezas Fundamentais

As principais grandezas serão apresentadas de forma sucinta, a partir das disposições das NBR (Norma Brasileira Regulamentadora) 5461, Iluminação, NBR 5413, Iluminância de Interiores, e do Sistema Internacional de Unidades – SI.

4.1.2.1. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso, Figura 20, é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano ou a potência de radiação total emitida em todas as direções por uma fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados. É possível equiparar o fluxo a uma “pressão” exercida em todas as direções em redor de um foco luminoso. A unidade de medida do fluxo é o lúmen (lm), e seu símbolo é a letra grega PHI (φ).

Um lúmen é a energia luminosa irradiada por uma candela sobre uma superfície esférica de 1m^2 e cujo raio é de 1m. Assim o fluxo luminoso originado por uma candela é igual à superfície de uma esfera unitária de raio ($r = 1\text{m}$).

$$\varphi = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 12,57 \text{ lm}$$



FIGURA 20 - Fluxo Luminoso
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.2.2. Intensidade Luminosa

Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o Fluxo Luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de

acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor de lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a Intensidade Luminosa (Figura 21). A unidade de medida da Intensidade Luminosa é a candela (cd) e é representada pela letra (I). Conforme INMETRO (2007), “A candela (cd) é a intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hertz e cuja intensidade de potência nessa direção é $1/683$ watt por esterradiano.”

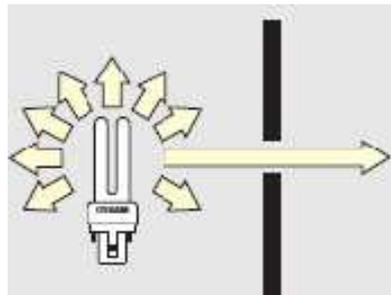


FIGURA 21 – Intensidade Luminosa
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.2.3. Curva de distribuição luminosa - CDL

É a representação da Intensidade Luminosa (I) em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano, de acordo com a Figura 22. Trata-se de um diagrama polar no qual se considera a lâmpada ou luminária reduzida a um ponto no centro do diagrama. Para uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm.

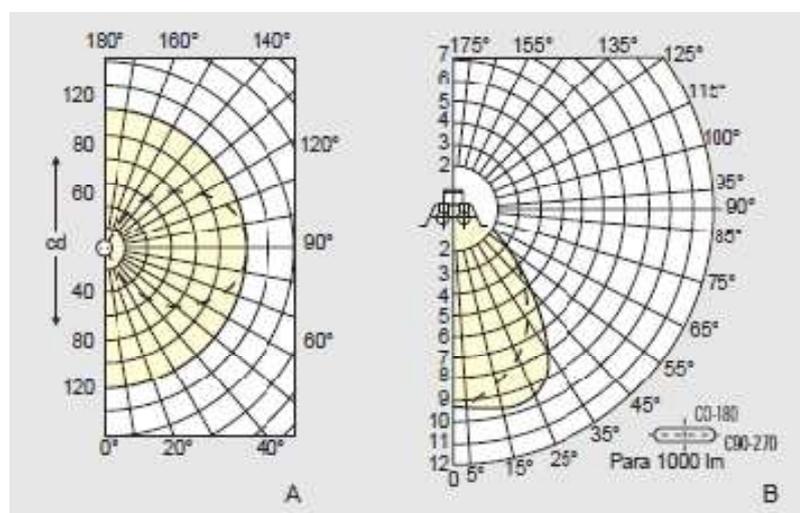


FIGURA 22 – Curva de distribuição de Intensidade Luminosa para uma lâmpada fluorescente isolada (A) e associada a um refletor (B).
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.2.4. Iluminância (Iluminamento)

A Iluminância (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide; ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide, cuja unidade em lux¹⁸ (lx). Em outras palavras, a equação 1 expressa esta grandeza:

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (1)$$

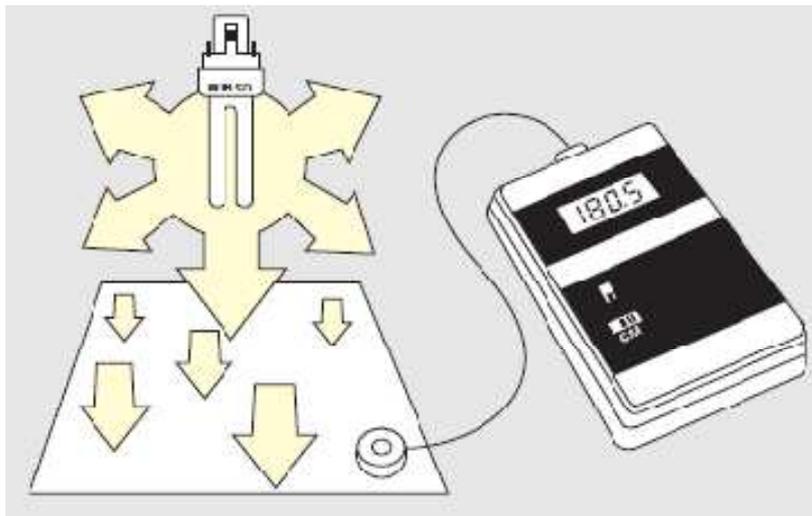


FIGURA 23 – Iluminância
Fonte: OSRAM (2000)

O fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média (E_m). A NBR 5523 atribui valores mínimos de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual.

4.1.2.5. Luminância

De acordo com STEFFENS (2008), a luminância é uma medida da densidade da intensidade de uma luz refletida numa direção, cuja unidade é a candela por metro quadrado (cd/m^2). Das grandezas mencionadas, nenhuma é visível, isto é, os raios de luz não são vistos,

¹⁸ 1 lux = é a densidade de um fluxo luminoso igual a 1 lúmen sobre uma superfície plana de área igual a 1 m².

a menos que sejam refletidos em um obstáculo e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de iluminância. Na Figura 24 pode-se perceber a diferença entre a iluminância e luminância.

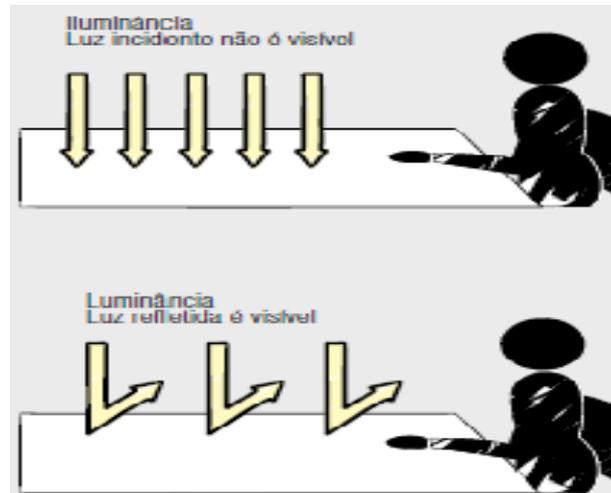


FIGURA 24 – Diferença entre luminância e iluminação.
Fonte: OSRAM (2000).

A partir da equação dois é possível sua determinação:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

Onde:

L = Luminância, em cd/m^2 ;

I = Intensidade Luminosa, em cd;

A = área projetada, em m^2 ;

α = ângulo considerado, em graus.

Como é difícil medir-se a Intensidade Luminosa que provem de um corpo não radiante (através da reflexão), pode-se recorrer à outra fórmula (equação 3), a saber:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (3)$$

Onde:

ρ = Refletância ou Coeficiente de Reflexão¹⁹;

E = Iluminância sobre essa superfície.

¹⁹ Coeficiente de Reflexão: é a relação entre o Fluxo Luminoso refletido e o Fluxo Luminoso incidente em uma superfície. Os valores do coeficiente são função das cores e dos materiais utilizados.

4.1.3. Características das lâmpadas e acessórios

4.1.3.1. Eficácia Luminosa – η_w

É a relação do entre o Fluxo Luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada (lm/W). A Figura 25 apresenta uma comparação com os diferentes índices de eficiência luminosa para diferentes tipos de lâmpadas. Este índice torna-se útil para indicar a eficiência do processo de emissão de luz sob o ponto de vista do aproveitamento energético.

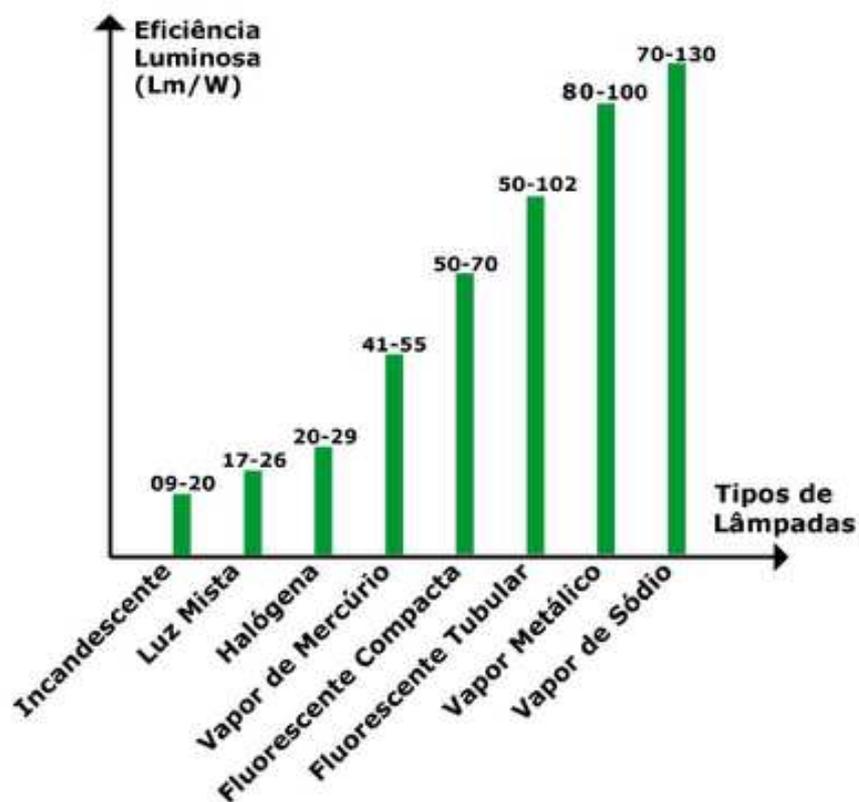


FIGURA 25 – Eficiência Luminosa para diferentes lâmpadas

4.1.3.2. Temperatura da Cor

É a grandeza que expressa a aparência da cor da luz, sendo sua unidade o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais fria é a cor da luz. A “luz quente” é a que tem aparência amarelada e temperatura de cor baixa: 3.000 K ou menos. A “luz fria”, ao contrário, tem aparência azul-violeta, com temperatura de cor elevada: 6.000 K ou mais. A “luz branca natural” é aquela emitida pelo sol em céu aberto ao meio-dia, cuja temperatura de cor é de 5.800 K (Figura 26). A utilização das tonalidades de luz pode ser diferenciada na

caracterização do ambiente, sendo a luz amarela melhor definida para ambientes que requerem maior grau de aconchego, enquanto a luz branca é mais utilizada para ambientes de trabalho em geral.

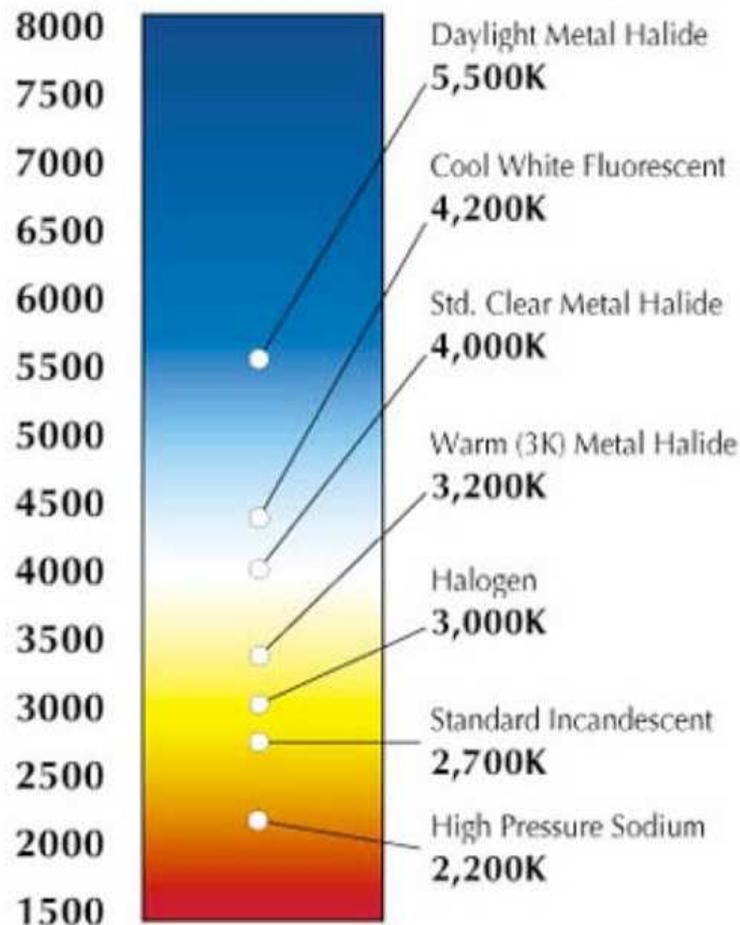


FIGURA 26 – Temperatura de Cor (em Kelvin)

4.1.3.3. Índice de Reprodução de Cores – IRC

O índice de reprodução de cor é baseado em uma tentativa de mensurar a percepção da cor avaliada pelo cérebro. O IRC é o valor percentual médio relativo a sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrões. Para indicar de forma consistente as propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz, idealizou-se um índice de reprodução de cores padrões sob diferentes iluminantes. As lâmpadas incandescentes apresentam um IRC acima de 90%, enquanto as lâmpadas fluorescentes sempre apresentarão um valor inferior a esse. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma temperatura de

cor apresentar índices de reprodução de cores diferentes. Com a simples troca de uma lâmpada é possível verificar a diferença entre as cores dos objetos quando iluminados com dois tipos de luz com diferentes IRC, conforme Figura 27, (STEFFENS, 2008).

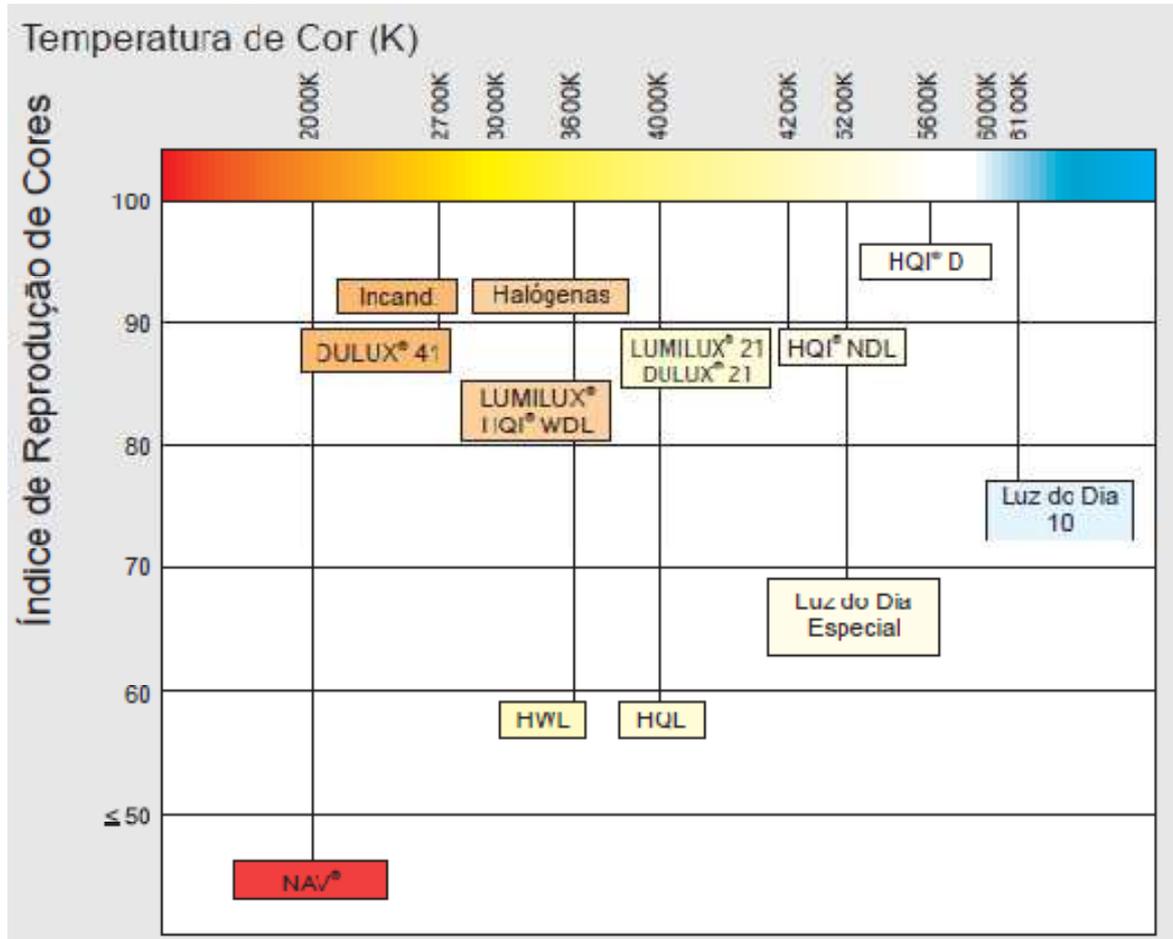


FIGURA 27 – Relação entre Índice de Reprodução de Cor e Temperatura de Cor
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.3.4. Fator de Fluxo Luminoso

Conforme COTRIM (2006), a maioria das lâmpadas de descarga opera em conjunto com reatores. Neste caso, foi observado que o fluxo luminoso total obtido neste caso depende do desempenho deste reator. Este desempenho é chamado de fator de fluxo luminoso (Ballast Factor) e pode ser obtido a partir da equação 4:

$$BF = \frac{\text{fluxo luminoso obtido}}{\text{fluxo luminoso nominal}} \quad (4)$$

4.1.4. Fatores de Desempenho

4.1.4.1. Eficiência da luminária (rendimento da luminária) - η_L

Segundo STEFFENS (2008, p.24), “Razão do Fluxo Luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, para a soma dos Fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária em condições específicas.” Dependendo das qualidades físicas do recinto em que a luminária será instalada, o Fluxo Luminoso que dela emana poderá se propagar mais facilmente, dependendo da absorção e reflexão dos materiais e da trajetória que percorrera até alcançar o plano de trabalho.

4.1.4.2. Eficiência do Recinto - η_r

A avaliação da eficiência do recinto é determinada por tabela fornecida pelo fabricante da luminária, onde através dos coeficientes de reflexão no teto, parede e piso é possível relacionar com a curva de distribuição luminosa da luminária utilizada e com o índice do recinto (STEFFENS, 2008).

4.1.4.3. Refletância

A Refletância ou Fator de Reflexão é a relação entre o fluxo luminoso refletido por um material e o fluxo incidente, expressa em porcentagem. Para efeito de cálculo luminotécnico, utiliza-se, como referência, os dados apresentados no Quadro 4.

Cor	Valor	Material	Valor
Branco	70 – 85	Gesso	70 – 80
Amarelo	65 – 75	Concreto	15 – 40
Cinza	10 – 65	Tijolo	10 – 30
Azul	10 – 55	Granito	15 – 25
Verde	10 - 55	Cimento	35 – 50
Preto	5	Madeira	10 – 50

QUADRO 4 – Refletância para materiais ou cores

Fonte: (ARCOWEB, 2010)

4.1.4.4. Ofuscamento

Segundo FREITAS (2009), ofuscamento é a luz excessiva sobre os olhos e é causado por uma fonte de luz, direta ou indireta, que se encontra numa posição tal que seja percebida pelos nossos olhos. Duas formas de ofuscamento podem gerar incômodos:

- Ofuscamento direto, através de luz direcionada ao campo de visão;
- Ofuscamento reflexivo, através da reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo visual. Considerando que a Luminância da própria luminária é incômoda a partir de 200 cd/m², valores acima deste não devem ultrapassar o ângulo de 45°, definidos pela Comissão Internacional de Iluminação – CIE, indicado na Figura 28, (IWASHITA, 2008).



FIGURA 28 – Ofuscamento
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.5. Cálculo Luminotécnico

Para realizar o cálculo luminotécnico, são necessários quatro critérios principais, quais sejam:

- A quantidade de luz adequada;

- O equilíbrio da iluminação;
- O ofuscamento;
- A reprodução de cor.

Estes critérios estão diretamente relacionados as necessidades visuais, conforto visual e, portanto, o bem estar humano. Para as condições preliminares de um projeto luminotécnico deve-se saber o tipo de iluminação adequada, tipo de luminária, tipo de local e as atividades que serão desenvolvidas. Há, basicamente, dois métodos para cálculo:

- Método dos Lúmens ou Método do Fluxo Luminoso;
- Método Ponto por Ponto.

O método ponto-a-ponto consiste em se obter o valor da iluminância (lux) total que incide em cada ponto de interesse através da aplicação da Lei de Lambert (lei do inverso do quadrado da distância). A implementação do método requer o conhecimento da distribuição fotométrica de cada fonte de luz cuja parte da intensidade luminosa emitida atinja o ponto diretamente.

O método que será apresentado nesta seção e mais utilizado para sistemas de iluminação é o Método dos Lúmens, que consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso necessário para determinado recinto baseado no tipo de atividade desenvolvida, cores de paredes e teto e do tipo de lâmpadas e luminárias escolhidas.

4.1.5.1. Índice do Recinto – K

Relação entre as dimensões do local, dado pelas equações (5) e (6), respectivamente, para iluminação direta e indireta:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} \quad (5)$$

$$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h'(a + b)} \quad (6)$$

Onde:

a = comprimento do recinto;

b = largura do recinto;

h = pé-direito útil;

h' = distância do teto ao plano de trabalho.

O pé-direito útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho ($h_{p.ltr}$) menos a altura do pendente da luminária (h_{pend}). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho, conforme Figura 29.

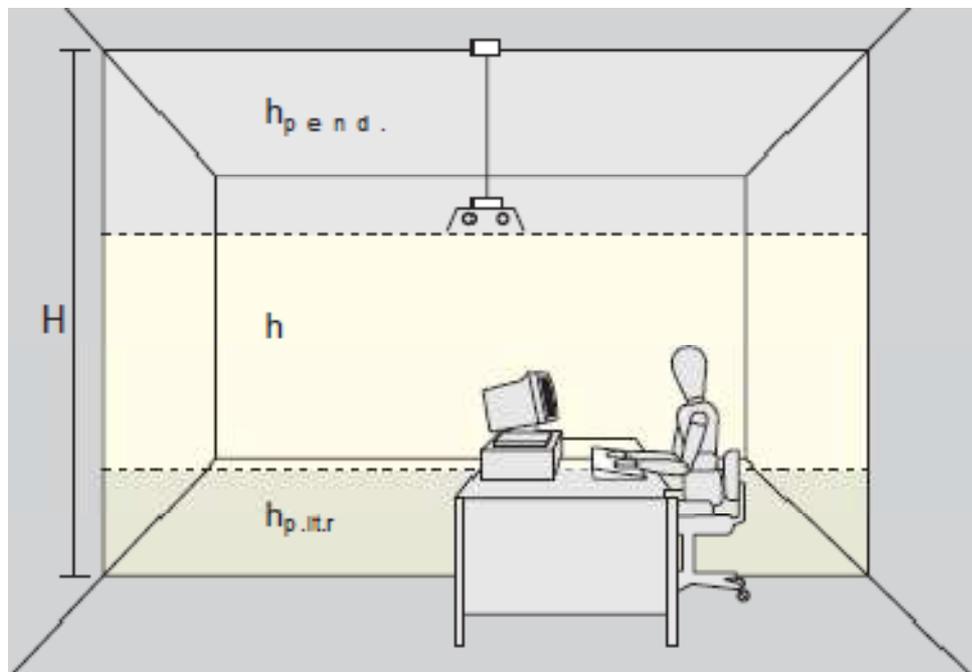


FIGURA 29 – Representação do pé-direito útil.
Fonte: OSRAM (2000)

4.1.5.2. Fator de Utilização – Fu

O Fluxo Luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho, é avaliado pelo Fator de Utilização. Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto. O produto da Eficiência do Recinto (η_R) pela Eficiência da Luminária (η_L) nos dá o Fator de Utilização (Fu), conforme equação (7).

$$Fu = \eta_R \cdot \eta_L \quad (7)$$

Alguns catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização direto para suas luminárias. Apesar de estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados não precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso.

4.1.5.3. Fator de Depreciação – Fd

O Fator de Depreciação relaciona o fluxo emitido no fim do período de manutenção da luminária com o fluxo luminoso inicial da mesma. A constante manutenção nas luminárias é um fator determinante para manter uma boa iluminação do recinto. Além disso, o tipo de atividade efetuada no local também deve ser considerado, determinando a necessidade de se efetuar manutenção em períodos maiores ou menores (STEFFENS, 2008).

4.1.5.4. Método de cálculo pelo Fluxo Luminoso

O cálculo baseia-se em atingir os níveis de Iluminância Média – E_m exigidos por norma em função do ambiente analisado. É importante ressaltar que cálculos mais precisos podem ser feitos com a ajuda de programas de computador, disponíveis em diversos modelos no mercado. Os dados necessários para o cálculo são:

- Dimensões do ambiente;
- Pé-direito;
- Altura do plano de trabalho;
- Altura de suspensão da luminária;
- Refletâncias do teto, parede e piso;
- Tipo de luminária a ser utilizada;
- Iluminância necessária no ambiente segundo a norma.

A iluminância média E_m é dada pela equação (8) e a eficiência do recinto corresponde ao valor apresentado na equação (9):

$$E_m = \frac{\Phi_{plano}}{A} \quad (8)$$

$$\eta_R = \frac{\Phi_{plano}}{\sum \Phi_{lum}} \quad (9)$$

Onde:

A = área do plano de trabalho;

$\sum \Phi_{lum}$ = somatório dos valores de fluxo luminoso de todas as luminárias; e

Φ_{plano} = fluxo luminoso incidente no plano de trabalho considerado.

O número de lâmpadas considera o fator de depreciação F_d , para compensar o desgaste e o tipo de manutenção dos equipamentos ao longo do tempo. No caso da utilização de lâmpadas de descarga, deve-se levar em conta ainda o fator de fluxo luminoso do reator (BF), conforme equação (10).

$$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\varphi \cdot \eta_L \cdot \eta_R \cdot BF} \quad (10)$$

Onde:

n = quantidade de lâmpadas;

φ = fluxo luminoso de uma lâmpada;

F_d = fator de depreciação;

BF = fator de fluxo luminoso do reator.

A quantidade de luminárias resultantes do cálculo pode apresentar incompatibilidade com a distribuição desejada ou com as características do local, então, recomenda-se o acréscimo de luminárias para que não haja redução do nível de iluminância adequado. Além da quantidade de lâmpadas e luminárias, bem como do nível de Iluminância, é imprescindível

a determinação da potência da instalação, para se avaliar os custos com energia e assim desenvolver-se um estudo de rentabilidade entre diversos projetos apresentados. O valor da Densidade de Potência – D , apresentado na equação (11), é de grande utilidade para os cálculos de dimensionamento dos projetos elétricos de uma instalação e sua unidade é W/m^2 .

$$D = \frac{\Sigma P_{total}}{A} \quad (11)$$

Onde:

ΣP_{total} = é o somatório da potência de todos os equipamentos instalados na iluminação (em Watts);

A medição dos níveis de iluminação para cada tipo de ambiente, bem como da verificação da densidade de potência permite a determinação da eficiência luminosa do atual sistema de iluminação apresentada na equação (12).

$$\varepsilon = \frac{E_m}{D} \quad (12)$$

Onde:

ε = eficiência luminosa.

Conforme OSRAM (2000), um sistema luminotécnico só é mais eficiente do que outro se, ao apresentar o mesmo nível de iluminância que o primeiro e, consumir menos watts por metro quadrado. A partir desse preceito usa-se também, para comparar sistemas de diferentes ambientes e iluminância a Densidade de Potência Relativa – D_r , conforme equação (13), onde é possível avaliar-se a eficiência entre duas instalações.

$$D_r = \frac{D \cdot 100}{E_m} \quad (13)$$

4.2. Análise Tarifária

O entendimento da maneira como é cobrada a energia elétrica e como são feitos os cálculos dos valores apresentados nas contas de luz é decisivo para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética. O modo como a energia elétrica é utilizada e sua análise por um período de tempo adequado permite estabelecer relações importantes entre hábitos e consumo.

4.2.1. Conceitos básicos

Alguns conceitos básicos são necessários para o entendimento da tarifação e do estudo proposto para conservação de energia.

4.2.1.1. Energia Elétrica

STEFFENS (2008, p. 33) descreveu o conceito de energia elétrica:

A energia elétrica consiste em uma forma de energia baseada na geração de diferenças de potencial elétrico entre dois pontos que permite estabelecer uma corrente elétrica entre ambos. Através de transformação adequada pode-se obter esta energia sob outras formas, adequadas para cada aplicação, tais como luz, calor, movimento, etc. A energia elétrica – E em circuitos AC pode ser relacionada com a potência elétrica através da equação (14), onde tensão eficaz (V), corrente eficaz (A), frequência (f) e tempo em segundos (t). A Figura 30 representa a curva de energia elétrica em circuitos de corrente alternada em função do tempo.

$$E = V \cdot I \cdot t - (V \cdot I/2) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad (14)$$

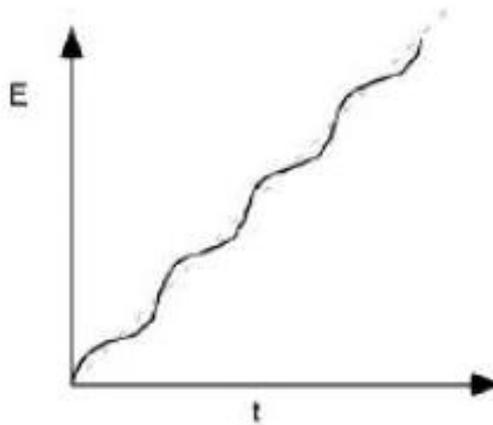


FIGURA 30 – Energia elétrica acumulada em circuito AC
Fonte: STEFFENS (2008, p. 34)

4.2.1.2. Potência

A grandeza que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo é chamada de potência, ou seja, o trabalho realizado em um determinado tempo. A unidade de potência é o watt [W].

Em circuitos elétricos de corrente alternada a soma das parcelas vetoriais de corrente ativa (resistores) e de corrente reativa (capacitores e indutores) resultam na corrente total (aparente). De acordo com a carga, a tensão estará ou não em fase com a corrente aparente, conforme a Figura 31, onde I_a representa a componente ativa e I_r representa a componente reativa e B o ângulo de defasagem entre a tensão (V) e a corrente (I).

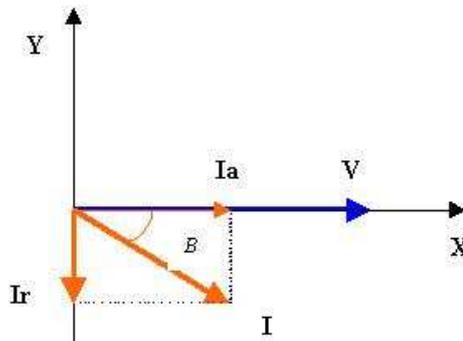


FIGURA 31 – Diagrama vetorial entre tensão e corrente

Em sistemas elétricos, a potência instantânea realizada por um dispositivo de dois terminais é o produto da diferença de potencial (tensão, V) e a corrente (I) que passa através desse dispositivo, conforme equação (15).

$$P = I \cdot V \quad (15)$$

No caso de corrente alternada, a potência média realizada durante um intervalo de tempo é dada a partir da integral no domínio do tempo da potência instantânea, conforme equação (16), onde $I(t)$ é o valor da corrente no instante t e $V(t)$ o valor da tensão no mesmo instante.

$$P_{med} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T I(t) \cdot V(t) \cdot dt \quad (16)$$

Esta integral resulta o produto dos valores quadrados médios (ou RMS – *Root Mean Square*) ou eficazes da tensão e da corrente que passa através do dispositivo multiplicado pelo cosseno do ângulo de defasagem, conforme equação (17), onde I_e é o valor eficaz da corrente alternada, V_e é o valor eficaz da tensão e φ é o ângulo de fase entre a tensão e a corrente. O termo $\cos \varphi$ é denominado Fator de Potência (Figura 32).

$$P = V_e \cdot I_e \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

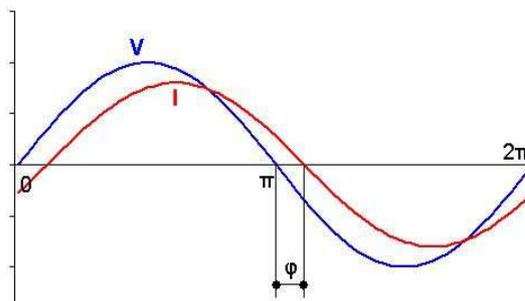


FIGURA 32 – Sinais de tensão e corrente defasados

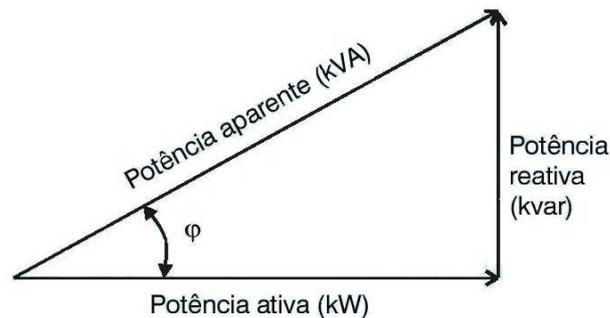


FIGURA 33 – Triângulo de Potências

A Figura 33 representa o fluxo de potência em circuitos de corrente alternada entre as três componentes de potência ativa, reativa e aparente são apresentados abaixo:

- Potência Ativa – P: expressa a potência que realmente é dissipada na forma de calor, luz ou movimento, isto é, a potência útil. A unidade utilizada é o Watt [W];
- Potência Reativa – Q: é a medida da energia armazenada que é devolvida para a rede durante cada ciclo de corrente alternada. É a energia utilizada para produzir os campos elétrico e magnético necessários para o funcionamento de

cargas como, por exemplo, retificadores e motores elétricos. A unidade utilizada é o Volt-Ampère-reactivo [VAr];

- Potência Aparente – S: representa o módulo da soma vetorial das duas potências anteriores, de acordo com a equação (18). A unidade utilizada é o Volt-Ampère [VA]; e

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (18)$$

- Fator de Potência – FP: índice que mostra a relação entre a potência ativa e a potência aparente, e indica a eficiência do uso de energia, conforme equação (19).

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S} = \cos \left(\arctg \left(\frac{Q}{P} \right) \right) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P} \right)^2}} \quad (19)$$

4.2.1.3. Carga Instalada

A carga instalada em uma unidade consumidora será a soma das potências nominais dos aparelhos, equipamentos e dispositivos a serem ligados, devendo ser incluídas: tomadas de uso geral e específico, sistemas de iluminação, chuveiros, aparelhos de ar condicionado, motores e todos os demais componentes elétricos.

4.2.1.4. Consumo de energia elétrica

Conforme COSERN (2006), refere-se à energia consumida pelas cargas da unidade consumidora durante intervalo de tempo, expressa em kiloWatt-hora [kWh].

4.2.1.5. Demanda

De acordo com COSERN (2006), é a média das potências elétricas ativas ou reativas solicitadas ao sistema da concessionária pelas cargas do consumidor ligadas simultaneamente, durante um intervalo de tempo especificado. Portanto, é uma grandeza não cumulativa, ou seja, não representa um valor que pode ser discretizado pelo número de dias, para efeito de

análise. Trata-se de uma grandeza com comportamento variável em função do regime de trabalho de cada unidade consumidora.

Conforme SOUZA (2008), para fins de tarifação a demanda é medida seguindo os padrões apresentados abaixo:

- Demanda Contratada: é o valor de demanda a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, conforme valor e período de vigência do contrato. Este valor, que é contratado pelo consumidor, deverá ser pago à concessionária, seja ou não utilizada;
- Demanda Medida: é o resultado da divisão do consumo medido pelo tempo de medição, sendo que, para o faturamento, este intervalo é de 15 minutos;
- Tolerância da Demanda Medida: trata-se de um percentual para sobre a demanda contratada (varia de acordo com a tensão de fornecimento) que, uma vez superado pelo consumidor, caberá a aplicação da tarifa de ultrapassagem em toda a parcela que exceder respectivamente a demanda contratada; e
 - 5% para unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV;
 - 10% para unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV.
- Demanda Excedente (de Ultrapassagem): parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada.

4.2.1.6. Períodos e Horários

Para efeito de tarifação o dia e o ano foram divididos, respectivamente, em horários e períodos, que serão apresentados logo abaixo:

- Horário de Ponta: é o intervalo de 3 (três) horas consecutivas, entre as 17 horas e as 22 horas, exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pelo

concessionária em função das características do seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados;

- Horário Fora de Ponta: corresponde às 21 horas complementares ao horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados, domingos e feriados nacionais. Este horário está dividido entre o período CAPACITIVO, quando o consumidor de energia não pode ter o fator de potência capacitivo inferior a 0,92 e o período INDUTIVO, quando o consumidor de energia não pode ter o fator de potência indutivo inferior a 0,92;
- Período Seco: compreende o intervalo de 7 (sete) meses consecutivos, situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de Maio a Novembro de cada ano;
- Período Úmido: é o período que abrange as leituras de consumo e demanda extraídas entre os ciclos de faturamento de Dezembro e Abril, totalizando 5 (cinco) meses do ano.

4.2.1.7. Curva de Carga

Em uma instalação consumidora de energia elétrica existem normalmente várias cargas e, como seu funcionamento nem sempre é simultâneo, a cada instante pode ser solicitada uma demanda diferente, dando origem à “curva de carga” da instalação, que é a representação gráfica das demandas nos seus horários de ocorrência. Na Figura 34 a seguir, a área sombreada corresponde ao consumo de energia da instalação no intervalo de tempo “t”, a demanda média corresponde ao consumo dividido pelo tempo “t” e a demanda máxima corresponde à maior potência demandada no intervalo de tempo.

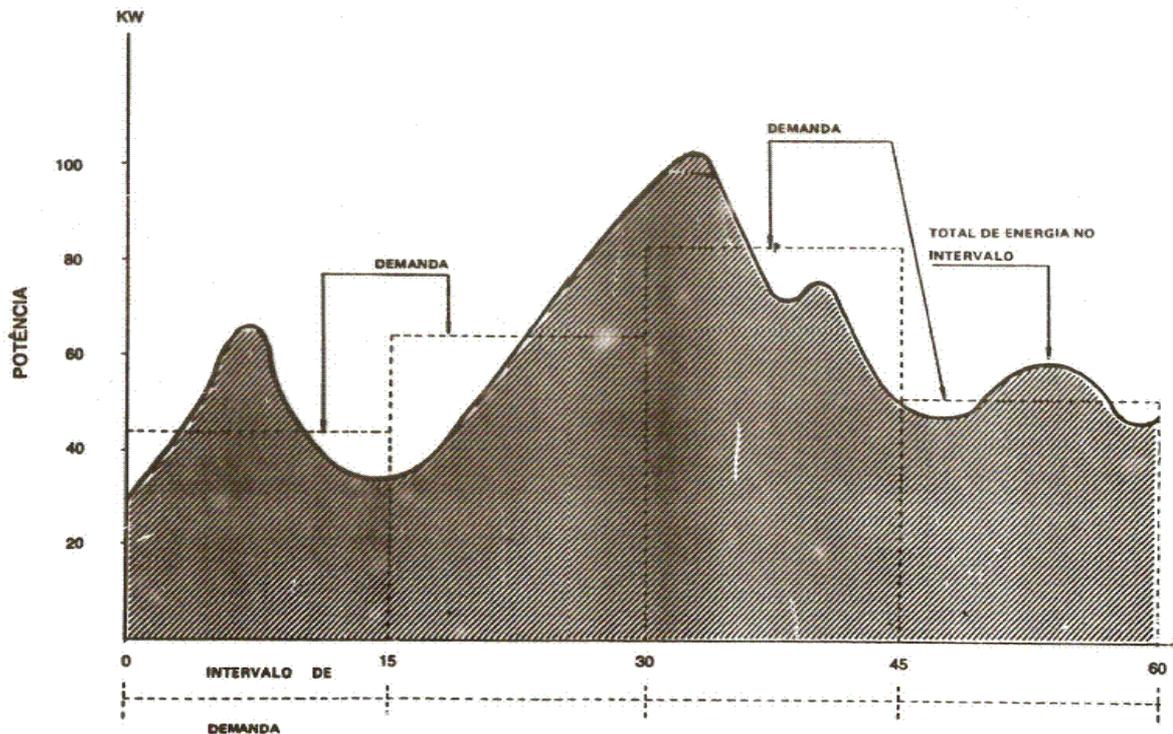


FIGURA 34 – Curva de carga típica do setor industrial
 Fonte: CELESC (2010)

4.2.2. Aspectos tarifários

De acordo com GUARDIA (2007), as unidades consumidoras são agrupadas em dois grandes conjuntos, em função do nível de tensão:

- Grupo A: consumidores ligados em tensão igual ou superior a 2.300 volts; e
- Grupo B: consumidores ligados em tensão inferior a 2.300 volts.

Os consumidores atendidos em baixa tensão como residências, lojas, agências bancárias, edifícios residenciais e boa parte dos edifícios comerciais, são classificados no Grupo B (trifásica 380 V/440 V e monofásica 127 V ou 220 V), apresentado no Quadro 5, na distribuição secundária a diferenciação é a partir dos tipos de consumidores.

Subgrupo	Tipo de consumidor
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Demais classes
B4	Iluminação Pública

QUADRO 5– Grupo B: Tipos de consumidores

Os consumidores em alta tensão, ligados em tensão igual ou superior a 2,3 kV, se subdividem em:

- Subgrupo A1: 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2: 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3: 68 kV;
- Subgrupo A3a: 30 kV a 44 kV;
- Subgrupo A4: 2,3 kV a 25 kV; e
- Subgrupo AS: Subterrâneo (Tensão < 2,3 kV).

4.2.3. Modalidade Tarifária

Com base na Resolução 456/2000 da ANEEL, há duas modalidades de tarifação, isto é, para consumidores do Grupo B a tarifa é monômnia (pagam apenas a energia consumida) e para os consumidores do Grupo A tarifa é binômnia (pagam tanto pela energia consumida quanto pela demanda de energia). Para tanto, existem três alternativas de tarifa para os consumidores do Grupo A, são elas:

- Tarifa Convencional;
- Tarifa Horo-Sazonal Verde; e
- Tarifa Horo-Sazonal Azul (compulsória para aqueles atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV).

4.2.3.1. Tarifa Convencional

De acordo com PROCEL (2001), o enquadramento na tarifa Convencional exige um contrato específico com a concessionária na qual se pactua um único valor da demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido). Os consumidores do Grupo A, subgrupos A3a, A4 ou AS, com demanda contratada inferior a 300 kW, desde que não tenham

ocorrido, nos 11 meses anteriores, 3 (três) registros consecutivos ou 6 (seis) registros alternados de demanda superior a 300 kW. A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem (caso ocorra).

4.2.3.2. Tarifa Horo-Sazonal Verde – THV

Esta modalidade tarifária é opcional e só pode ser aplicada a unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV (A3a, A4 e AS), sendo neste caso também necessário um contrato específico. Baseia-se na aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem com uma única tarifa de demanda de potência. No período seco as tarifas de consumo na ponta e fora de ponta são mais caras que no período úmido. A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas, na ponta e fora de ponta, referente ao consumo, demanda e ultrapassagem (caso ocorra). A Figura 35 corresponde ao diagrama de formação da Tarifa Horo-Sazonal Verde.

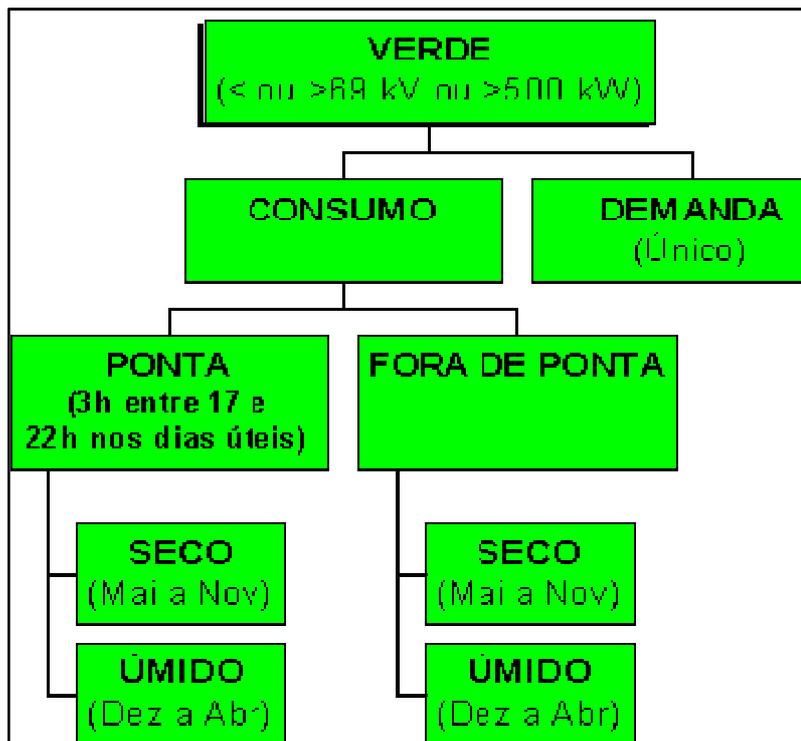


FIGURA 35 – Tarifa Horo-Sazonal Verde
Fonte: PEREIRA (2009)

4.2.3.3. Tarifa Horo-Sazonal Azul – THA

O enquadramento dos consumidores do Grupo A na tarifação horo-sazonal azul é obrigatório para os consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3. Esta modalidade também exige um contrato com a concessionária no qual se pactua tanto o valor de demanda pretendido pelo consumidor no horário de ponta quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta. A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo, demanda e ultrapassagem. A Figura 36 corresponde ao diagrama de formação da Tarifa Horo-Sazonal Verde.

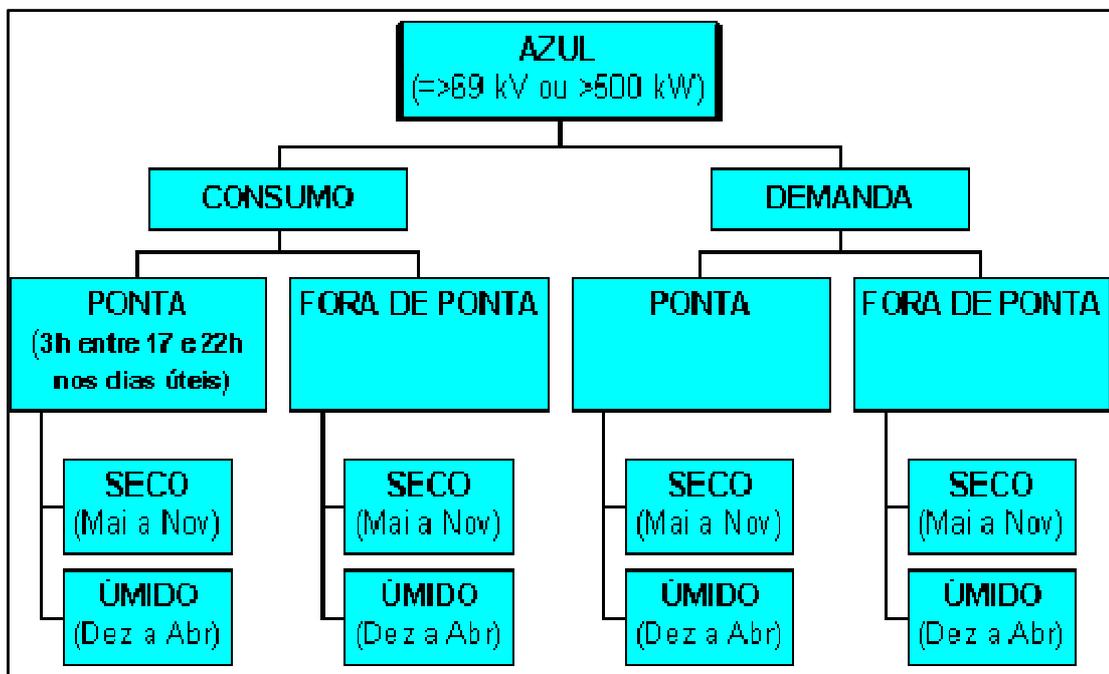


FIGURA 36 – Tarifa Horo-Sazonal Azul
Fonte: PEREIRA (2009)

4.2.4. Energia e Demanda Reativas

O Art. 64 da Resolução nº 465/2000, da ANEEL, estabelece que o Fator de Potência de referência, indutivo ou capacitivo, terá como limite mínimo permitido o valor de 92%. Valores inferiores indicam excedente de reativo, que será faturado na conta de energia elétrica. O faturamento da energia e demanda reativas excedentes utiliza as tarifas de consumo e demanda de potência ativas de forma a se efetuar a cobrança de energia ativa

reprimida no sistema elétrico. Existem fórmulas próprias para cálculo dos valores de Faturamento de Energia Reativa Excedente – FER e Faturamento de Demanda Reativa Excedente – FDR, mostradas na Resolução 465, entretanto apresentá-las e discuti-las foge aos objetivos deste projeto.

4.2.5. Encargos e tributos

Nas faturas constam valores referentes à cobrança de encargos e tributos definidos pelos órgãos reguladores e demais entidades do setor elétrico. O encargo mais habitualmente cobrado nas faturas mensais é o denominado “Encargo de Capacidade Emergencial”, o qual possui sua base de aplicação sobre os conceitos faturáveis de energia elétrica ativa (kWh). Neste caso, sobre a soma da energia elétrica ativa consumida pela unidade consumidora, aplica-se a tarifa vigente estabelecida na legislação específica, encontrando-se o valor que será repassado aos órgãos competentes. O valor do encargo é definido por Resolução do órgão regulador que o institui, onde consta toda a discriminação de aplicação dos recursos provenientes de sua cobrança, qual a finalidade e prazo de vigência do encargo, e critérios para a identificação do mesmo nas faturas. Já o imposto usualmente cobrado nas faturas de energia elétrica é o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e de Serviços – ICMS, com alíquotas variando de 15% até 44% dependendo do Estado e da categoria do consumidor. Vigora em todas as modalidades tarifárias incidindo sobre a soma das parcelas da fatura. O seu cálculo²⁰ é feito conforme equação (20).

$$Tarifa_{Preço\ final} = \frac{Tarifa\ homologada}{\{1 - (alíquota\ ICMS)\}} \quad (20)$$

²⁰ O cálculo do ICMS é dito popularmente feito “por dentro”, pois essa forma de cálculo acaba majorando o valor do imposto. Seguindo, dessa maneira, uma tendência exponencial de crescimento da alíquota incidente sobre a fatura de energia e ferindo os princípios da não-cumulatividade.

A Figura 37 exemplifica a representatividade dos impostos e encargos sobre o valor final da fatura de energia elétrica no Brasil.

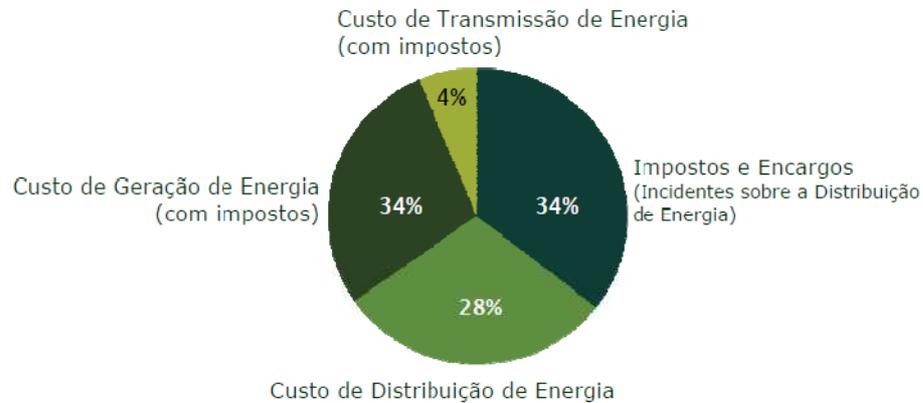


FIGURA 37 – Componentes da Tarifa de Energia Elétrica referentes a 2008
Fonte: INSTITUTO ACENDE BRASIL (2010)

4.2.6. Fator de Carga – FC

O Fator de Carga, segundo CELESC (2010), é um índice que demonstra se a energia consumida está sendo utilizada de maneira racional e econômica. Este índice varia de zero a um, e é expresso pela relação entre a energia ativa consumida num determinado período de tempo e a energia ativa total que poderia ser consumida, caso a demanda medida do período (demanda máxima) fosse utilizada durante todo o tempo, conforme equação (21).

$$FC = \frac{kWh}{kW \cdot t} \quad (21)$$

Em que:

kWh = consumo de energia ativa;

kW = demanda de potência ativa medida;

t = número de horas ocorridas no intervalo.

No caso de consumidores enquadrados na estrutura tarifária horo-sazonal, o FC é definido por segmento horo-sazonal (ponta e fora de ponta) considerando valores apurados no mesmo período de tempo, conforme as seguintes equações (22) e (23):

$$FC_{ponta} = \frac{kWh_{ponta}}{kW_{ponta} \cdot t_{ponta}} \quad (22)$$

$$FC_{fora\ da\ ponta} = \frac{kWh_{fora\ da\ ponta}}{kW_{fora\ da\ ponta} \cdot t_{fora\ da\ ponta}} \quad (23)$$

A melhoria (aumento) do fator de carga, além de diminuir o preço médio pago pela energia consumida, conduz a um melhor aproveitamento da instalação elétrica, inclusive de motores e equipamentos e à otimização dos investimentos nas instalações.

4.3. Correção do Fator de Potência

Em geral, a correção do Fator de Potência – FP é uma das medidas mais baratas de redução de despesas com energia elétrica. Um baixo fator de potência indica que a energia para não está sendo plenamente utilizada. A legislação atual determina que o FP possa ser mantido o mais próximo possível da unidade (1), mas permite um valor mínimo de 0,92, conforme Resolução nº 456/2000 da ANEEL. As principais causas do baixo fator de potência (menor que 0,92) são:

- Motores e transformadores operando em vazio ou subcarregados durante longos períodos de tempo;
- Motores superdimensionados;
- Reatores com baixo fator de potência para acionamento de lâmpadas de descarga (fluorescentes, de vapor de mercúrio e de sódio);
- Tensão acima do valor nominal, causando um acréscimo de consumo de energia reativa.

Quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativo, mais baixo será o FP. Isto é, caso o FP esteja abaixo do nível permitido, a fatura de energia elétrica terá um reajuste em valor monetário, com base na equação (23):

$$\text{Acréscimo} = \text{Valor da fatura} \times \left[\frac{0,92}{FP_{medido}} - 1 \right] \quad (23)$$

Os maiores benefícios com a correção do FP é a redução das faturas de energia elétrica, mas há outros benefícios como o aumento na capacidade elétrica do sistema, melhoria nos níveis de tensão, o que faz aumentar a eficiência, a performance e a vida útil dos motores, e a diminuição das perdas elétricas. Esta última pode ser calculada pela equação (24), abaixo:

$$\text{Redução de perdas (\%)} = 100 - 100 \cdot \left(\frac{FP_{original}}{FP_{corrigido}} \right) \quad (24)$$

Para melhorar o FP deve-se reduzir o consumo de energia reativa, ou seja, solicitar menos energia reativa da rede. As alternativas para melhorar o fator de potência são as seguintes:

- a) Alternativa operacional: eliminar as distorções que porventura existam na instalação. Para isso, as providências básicas são:
 - I. Verificar o nível de tensão;
 - II. Elevar, se isto convier, o consumo de energia ativa;
 - III. Redimensionar de motores, transformadores e outros equipamentos;
 - IV. A utilizar permanentemente reatores de alto Fator de Potência;

É de suma importância ressaltar que a eliminação de parte das distorções existentes talvez não seja o suficiente para a melhoria do FP, contudo a mesma deve ser utilizada devido a razões econômicas e de segurança.

- b) Instalação de Capacitores: existem algumas maneiras diferentes de se implementar a correção do fator de potência na unidade consumidora, em termos de seu local de instalação:
 - I. Compensação individual de cargas: é efetuada instalando capacitores junto ao equipamento cujo FP se pretende melhorar.

- II. Compensação por grupo de cargas: o banco de capacitores é instalado junto ao quadro de distribuição de forma a compensar um setor ou um conjunto de máquinas;
- III. Compensação na entrada da energia em média tensão: corrige o FP visto pela concessionária, permanecendo internamente todos os inconvenientes citados pelo baixo fator de potência, sem mencionar no custo mais elevado em razão do nível de tensão de operação do banco de capacitores; e
- IV. Compensação geral: o banco de capacitores é instalado na saída do transformador ou do quadro de distribuição geral, se a instalação for alimentada em baixa tensão.

O Quadro 6, apresenta as vantagens e desvantagens entre as instalações individual ou em bancos de capacitores:

Tipo de Instalação	Vantagens	Desvantagens
Capacitores individuais	Mais eficiente e flexível	Custo de instalação alto
Bancos fixos	Mais econômico, poucas instalações	Menos flexível, requer chaves ou contatores
Bancos automáticos	Melhor para cargas variáveis, previne sobretensões, baixo custo de instalação	Custo mais alto do equipamento

QUADRO 6 – Comparativo entre as instalações individual e de bancos de capacitores.

4.4. Climatização de ambientes

O estudo das condições climáticas do local da edificação é de relevada importância em um projeto, visto que os fatores climáticos influenciam o espaço interno da edificação. Tais características serviram de base para os cálculos do consumo de energia, projeto de sistemas de condicionamento de ar e para simulações da demanda de energia para climatização em edificações, conforme HAGEL (2005).

Segundo INMET (2010), as condições climáticas predominantes no Brasil são apresentadas no Quadro 7, que direcionam para a utilização de sistemas de ar condicionado para todas as regiões ao longo do ano inteiro. Faz necessário o registro da falta de informações mais recentes do instituto de meteorologia para formação de indicadores de estudo da relação do consumo de energia elétrica com as médias diárias de temperatura.

Região	Cidade	Junho	Julho	Agosto
Sul	Porto Alegre	11	11	13
Sul	Florianópolis	14	14	14,5
Sul	Curitiba	13	13	14
Sudeste	São Paulo	12,5	12	12,5
Sudeste	Rio de Janeiro	18	18	18
Sudeste	Belo Horizonte	13	13	13,5
Centro Oeste	Campo Grande	15	14	16
Nordeste	Recife	21,5	21	21
Norte	Manaus	23	23	23

QUADRO 7– Temperaturas médias mínimas no período de 1961-1990 em °Celsius
Fonte: INMET (2010)

De acordo com LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (1997), a maior contribuição para o ganho térmico em edificações atribui-se a radiação solar, que também é a responsável pela fonte de luz natural. Estabelecer a relação ideal entre esses fatores levaria ao aumento da eficiência da edificação e supriria todas as necessidades de conforto dos ocupantes.

Segundo HAGEL (2005), “conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico”.

O conjunto das condições distintas do ar capazes de proporcionar sensações de bem-estar consideradas como ótimas para a maioria das pessoas é chamada de zona de conforto. Tal zona possui limites variáveis de indivíduo para indivíduo, sé tendo sentido como elemento estatístico, visto que varia com o vestuário, atividade realizada, clima, estação do ano e idade.

Condições internas de conforto para o Brasil, indicadas pelas normas brasileiras, na NB-10, para as estações de verão e inverno estão descritas na Tabelas 7 e Tabela 8.

TABELA 7 – Condições internas de conforto para verão, de acordo com a temperatura externa
Fonte: NBR 6401 (1980)

Temperatura externa		Condições Internas		
Termômetro seco °C	Termômetro seco °C	Termômetro seco °C	Umidade Relativa %	
29	24,5	19,5	62,0	
	25,0	19,0	56,0	
	25,5	18,5	50,0	
	26,0	18,0	44,0	
32	25,0	20,5	66,0	
	25,5	20,0	60,0	
	26,0	19,5	54,0	
	26,5	19,0	48,0	
35	25,5	21,5	70,0	
	26,0	21,0	64,0	
	26,5	20,5	58,0	
	27,0	20,0	52,0	

TABELA 8 - Condições internas de conforto para inverno, de acordo com a temperatura externa
Fonte: NBR 6401 (1980)

Temperatura externa		Condições Internas		
Termômetro seco °C	Termômetro seco °C	Termômetro seco °C	Umidade Relativa %	
15	22,0	15,5	50,0	
10	20,0	13,5	50,0	
5	18,0	12,0	48,0	
0	16,0	10,0	46,0	

4.4.1. Conceitos básicos

O estudo das propriedades termodinâmicas de misturas de ar e de vapor de água, tais como temperatura, umidade, entalpia e ponto de orvalho é denominado Psicrometria. Seus princípios são aplicados nos estudos relacionados ao cálculo de carga térmica, sistemas de ar

condicionado, serpentinas de desumidificação e resfriamento, torres de resfriamento e resfriadores evaporativos. Haja vista, que este projeto não versa apenas sobre este assunto de suma importância, optou-se apenas em expor nesta seção alguns elementos essenciais para o entendimento das análises para eficiência energética.

4.4.1.1. Mistura Ar-Vapor d'água

Conforme expôs CASTRO (2003), a mistura de gases que constituem o ar atmosférico com exclusão do vapor de água e seus contaminantes é definida como ar seco. Considerando constante a composição do ar, mas apresentando pequenas variações dos componentes com o tempo, localização geográfica e altitude. Sua composição percentual, em volume ou número de moles por 100 moles do ar seco, é dada na Tabela 9.

TABELA 9 – Composição do ar seco nível do mar
Fonte: ASHRAE (1989)

Componente	Fórmula Química	Porcentagem em volume (%)	Massa molecular (kg/kg-mol)
Nitrogênio	N ₂	78,0840	28,01600
Oxigênio	O ₂	20,9476	32,00000
Argônio	Ar	0,9340	39,94800
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,0314	44,01000
Neônio	Ne	0,0018	20,18300
Hélio	He	0,0005	4,00260
Metano	CH ₄	0,0002	16,03188
Dióxido de Enxofre	SO ₂	0,0001	64,06400
Hidrogênio	H ₂	0,0001	2,01594
Criptônio	Kr	0,0002	93,80000
Ozônio	O ₃	0,0002	48,00000
Xenônio	Xe	0,0002	131,30000

A mistura de ar seco-vapor d'água é definida como ar úmido. A quantidade de vapor d'água presente na mistura pode variar de zero até um valor correspondente à condição de saturação (chuva em determinada temperatura). Diversas propriedades termodinâmicas estão

associadas com as propriedades do ar úmido, e dessas propriedades três estão associadas a temperatura:

- Temperatura de bulbo seco – TBS: temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto a radiação;
- Temperatura de bulbo úmido – TBU: temperatura indicada por um termômetro cujo bulbo foi coberto por uma mecha úmida; e
- Temperatura do ponto de orvalho – TO: temperatura abaixo da qual se inicia a condensação, à pressão constante, do vapor d'água contido no ar úmido. A Figura 38 ilustra o diagrama T-S.

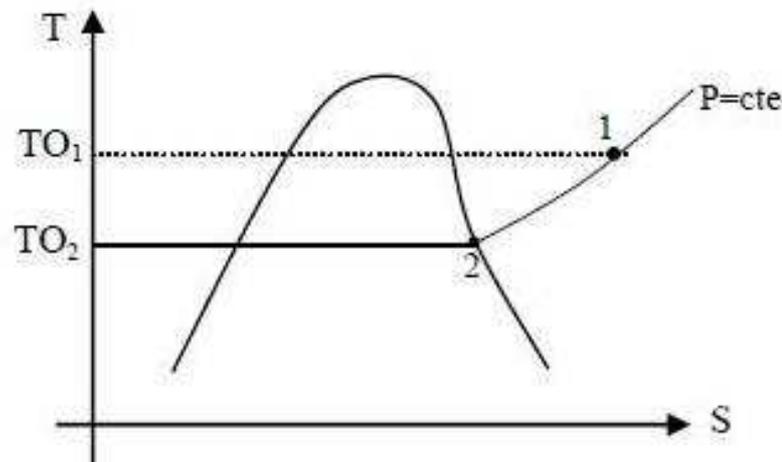


FIGURA 38 – Diagrama T-S para o ar.
Fonte: CASTRO (2003)

Outras importantes propriedades termodinâmicas caracterizam a quantidade de vapor d'água presente no ar úmido, umidade absoluta e relativa, e quanto à energia do ar, é a entalpia.

4.4.2. Carga Térmica

A função do condicionamento de ar é estabelecer condições ideais de temperatura e umidade, seja para conforto humano, equipamentos ou produtos. Para obter tais condições,

equipamentos devem ser dimensionados e controlados adequadamente. O dimensionamento destes aparelhos deve ser determinado pelo cálculo de carga térmica e o seu controle definido pelas condições a serem mantidas durante as mudanças nas mesmas, e é expressa em BTU/h.

4.4.2.1. Cálculo da Carga Térmica

De acordo com STEFFENS (2008):

Para um cálculo aproximado de carga térmica, pode-se utilizar a Tabela 10, que propõe uma estimativa para a carga térmica de verão. O quadro toma como base os valores abaixo, que abrangem as características das principais cidades brasileiras:

- Condições Externas:
 - Temperatura de Bulbo Seco = 35°C
 - Temperatura de Bulbo Úmido = 23,8 a 25,5 °C
- Condições internas:
 - Temperatura de Bulbo Seco = 24,4 a 26,6 °C
 - Umidade relativa = 50%

O ponto ótimo das condições de conforto, que foi indicado nas condições internas de ambientes foi obtido através de ensaios feitos com pessoas vestidas com roupas comuns e submetidas a várias condições de temperatura, umidade relativa e movimento de ar, anotando se as reações em face das diversas condições. Com o uso, estimaram-se os valores indicados para as condições internas em função das temperaturas, pressão e umidade relativa das principais cidades brasileiras.

TABELA 10 – Estimativa de Carga térmica
Fonte: A partir de STEFFENS (2008, p. 41)

Tipo de Carga	Total BTU/h por m²	m² por pessoa	kcal/h por m²
Apartamento e quartos de hotel	215,29	16,26	54,20
Bancos	570,71	4,92	143,80
Escritórios em geral	462,86	9,76	116,60
Salão de eventos e auditórios	775,03	7,14	102,46
Grandes lojas no pavimento principal	452,10	3,25	113,90
Museus de arte e bibliotecas	548,98	5,57	138,20

5. ESTUDO DE CASO

O presente estudo descreve a síntese das análises efetuadas com objetivo de redução do consumo de energia elétrica e da demanda de potência nas instalações de um prédio público federal. O estudo foi baseado em levantamento de campo, realizados nos meses de maio e julho de 2010, e em informações fornecidas pelos responsáveis pela instalação e pela distribuidora local de energia elétrica, Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE, tendo como base ações nos seguintes segmentos de consumo:

- Iluminação;
- Análise de contrato de fornecimento de energia com a concessionária e das faturas mensais de energia elétrica entre os anos de 2008 e 2010;
- Correção do Fator de Potência; e
- Climatização dos ambientes;

5.1. Principais características do prédio e do seu sistema elétrico

O prédio, com data de construção em 1976, de quatro pavimentos abriga, principalmente, salas com funções administrativas diversas, um auditório, o Centro de Processamentos de Dados – CPD, uma pequena oficina e marcenaria. A Figura 39 representa um esboço do primeiro pavimento.



FIGURA 39 – Esboço da planta baixa do prédio

O horário de funcionamento da instituição é das 8h às 17h, embora haja atividade ainda até as 19h, de acordo com a época do ano e o volume de trabalho. Os serviços realizados na oficina e carpintaria são exclusivamente de manutenção dos bens móveis e pequenos reparos e conservações na edificação durante o expediente normal.

Conforme as faturas de energia elétrica de 07/2008 a 06/2010, a empresa pública em questão está enquadrada no subgrupo A4, modalidade tarifária horo-sazonal verde, e tensão de fornecimento 13.800 Volts, seu consumo caracterizou-se por:

- Consumo médio da instalação fora do horário de ponta: 22.014 kWh;
- Consumo médio da instalação no horário de ponta: 1.078 kWh;
- Demanda média registrada mensal fora do horário de ponta: 123 kW;
- Demanda média registrada mensal no horário de ponta: 40 kW;
- Preço médio da Energia:
 - Ponta: 1,83 R\$/kWh;
 - Fora da Ponta: 0,24 R\$/kWh;
- Fator de Potência médio mensal: 0,99; e
- Fator de Carga médio mensal: 0,26.

Apesar de atingir um Fator de Potência médio mensal próximo do unitário, a instalação apresenta consumo de energia reativa: nos sábados, domingos e feriados e em todos os dias úteis, geralmente, a partir das 17hs. O consumo de energia reativa média mensal, nestes dois anos analisados, é:

- Consumo reativo na ponta: 427 kVAr; e
- Consumo reativo fora da ponta: 2140 kVAr.

5.1.1. Sistema elétrico de alimentação

A Figura 40 apresenta o diagrama unifilar da subestação de entrada do prédio. Os transformadores TF1 e TF2, cujos secundários estão ligados em paralelo, alimentam toda a carga instalada. A disposição da subestação e seus equipamentos são indicados na Figura 41.

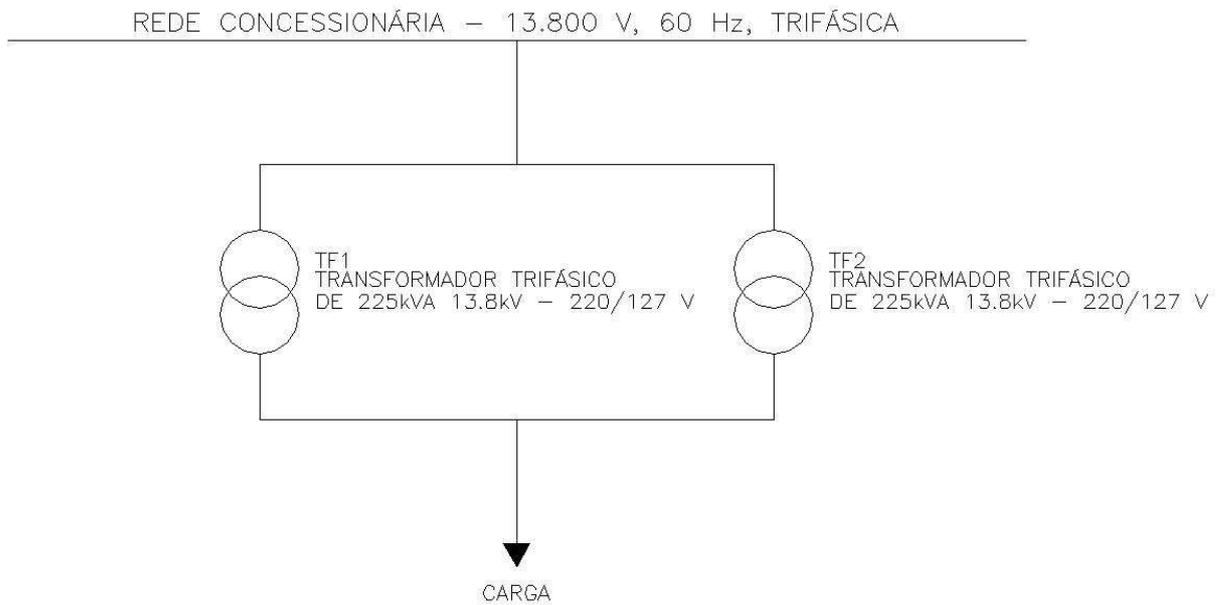


FIGURA 40 – Diagrama unifilar da subestação do prédio.



FIGURA 41 – Disposição dos transformadores na SE

A análise de carregamento dos transformadores, Tabela 11, com resultados de medições de corrente nas fases dos mesmos durante a tarde de um dia útil. O valor da demanda apresentado reflete o real carregamento dos transformadores ao longo de um dia de expediente normal. Estes dados nos apontam para um superdimensionamento da capacidade dos transformadores instalados na subestação.

TABELA 11 – Demanda dos TF1 e TF2 (Dois trafos de 225 kVA em paralelo)

Fase	Corrente medida (A)	Tensão fase-neutro (V)	kVA = $V \times I / 1000$
A	330	127	41,91
B	340	127	43,18
C	370	127	46,99
kVA Total =			132,08
Carregamento =			$132/450 = 29\%$

O baixo carregamento implica em maiores perdas, uma vez que transformadores apresentam rendimento ótimo quando operam com carregamento próximo de sua capacidade nominal. Além disso, carregamento próximo de 100% diminui a necessidade de compensação reativa, devido ao maior fator de potência apresentado pelo transformador nestas condições.

5.2. Levantamento de carga no prédio

A carga instalada no prédio foi obtida através da visita a cada sala do prédio, sendo anotados, em planilha, todos os equipamentos em funcionamento. A partir dos dados de potência dos equipamentos ou de valores padrões chegou-se a divisão da carga em cinco grupos:

- Ar Condicionado: de janela, split e central;
- Iluminação: luminárias 2x40W, 2x32W, e lâmpadas incandescentes e compactas;

- Equipamentos de escritório: CPU, impressoras, copiadoras e equipamentos de rede;
- Máquinas elétricas: motores e equipamentos de refrigeração;
- Outros: eletrodomésticos, chuveiros e equipamento de aquecimento de água.

A Figura 42 representa a estrutura da carga instalada, em percentagem, no prédio analisado conforme os grupos de equipamentos. Desse modo, é possível perceber, comparando com a estrutura típica (Figura 15), que, neste caso, os equipamentos de escritório representam quase o dobro do total da carga. Em teoria, a eficiência destes equipamentos já é próxima do ideal e esta instalação deveria apresentar índices de conservação de energia superior à média dos prédios públicos.

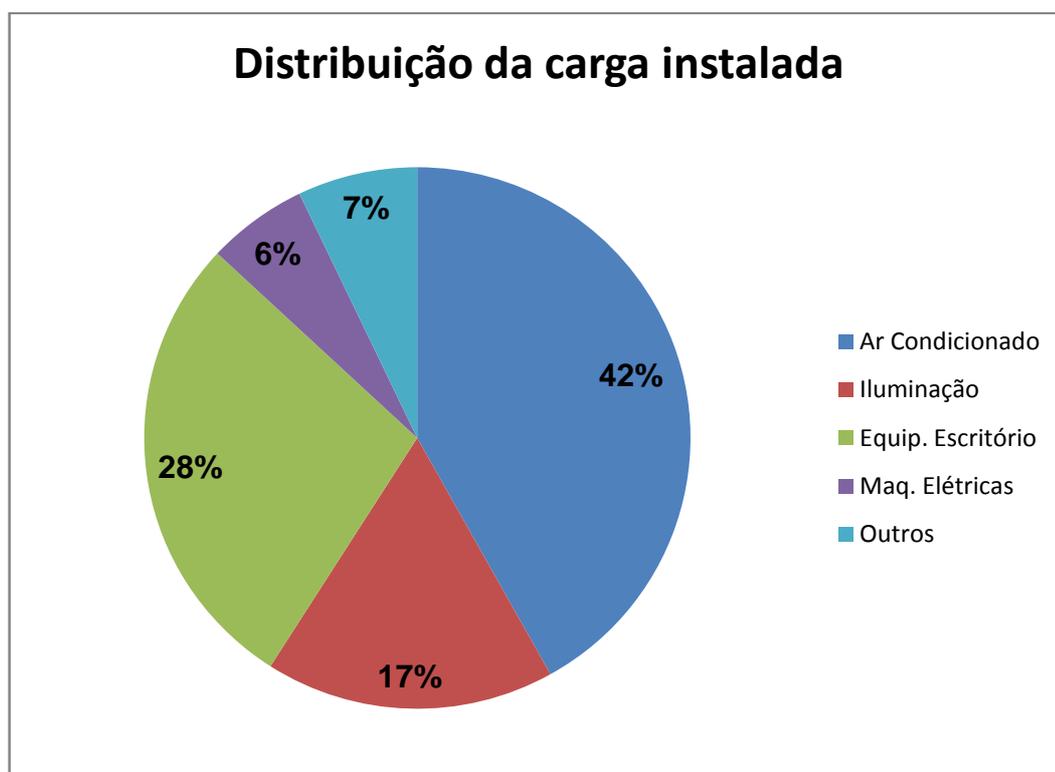


FIGURA 42 – Estrutura da carga consumida na instalação.

5.3. Iluminação

O sistema de iluminação do prédio tem como base as lâmpadas fluorescentes, conforme Figura 43, com reatores eletromagnéticos que provocam níveis altos de ruído e efeitos cintilantes (variação do fluxo luminoso acarretando em estresse visual), que podem acarretar interferência magnética e queda do fator de potência. É possível observar a iluminação típica da edificação sem elementos reflexivos, servindo apenas como suporte para as lâmpadas, conforme Figura 44.

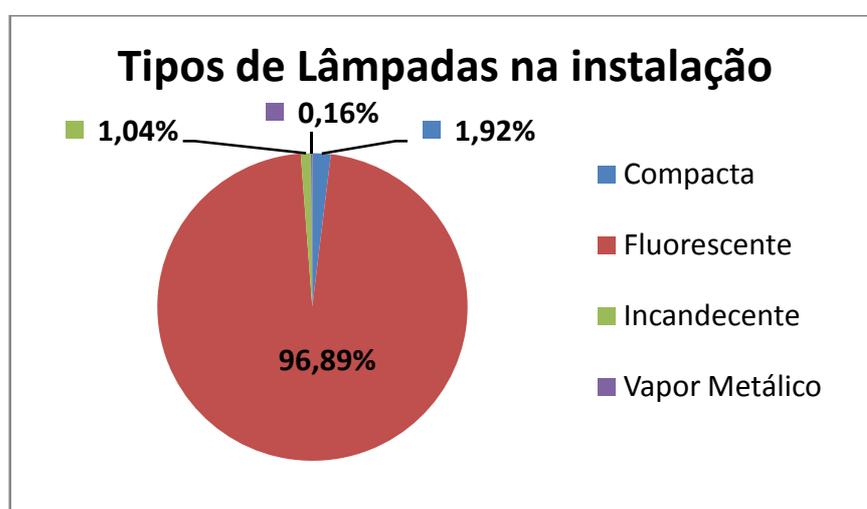


FIGURA 43 – Distribuição dos tipos de lâmpadas presentes na instalação.



FIGURA 44 – Luminárias existentes na instalação e sua distribuição.

Os valores de iluminância médios das salas do prédio, que serão apresentados a seguir, foram obtidos com medições realizadas através de luxímetro²¹ em posições determinadas pela NBR 5382. Um fator também a ser levantado é a divisão dos circuitos por interruptor, pois, não se levou em consideração a iluminação natural presente. As luminárias foram posicionadas perpendicularmente às janelas, mostrado na Figura 44, ignorando a grande área envidraçada oferecida. A realização das medidas ocorreu nos dois turnos, contudo a iluminação externa não apresentou grande influência nas medições, haja vista, que as cortinas estavam sempre fechadas. Com base no que foi citado serão apresentados as características do sistema de iluminação do prédio e sua análise.

5.3.1. Lâmpadas e luminárias

As lâmpadas utilizadas no prédio são na sua grande maioria lâmpadas fluorescentes de 40 W, chegando a 94,65% do total de lâmpadas. A disposição das luminárias de forma desalinhada causa uma má distribuição do fluxo luminoso no ambiente. Tal fato aliado a falta de manutenção, pois muitas salas apresentam lâmpadas queimadas ou luminárias sem lâmpadas, faz com que o sistema de iluminação das salas fique ineficiente com existência de penumbra em determinados locais. A instalação de todas as luminárias foi feita em teto de gesso fixadas nas lajes e suas alturas de instalação variam entre 2,30m e 2,50m.

Deve estar presente que qualquer manutenção a ser realizada necessita optar em fazer a troca de lâmpadas, ou outros equipamentos, por modelos apropriados para um melhor aproveitamento da energia. Dessa maneira, escolher lâmpadas, reatores eletrônicos e luminárias com calhas reflexivas, de modo a se reduzir o consumo de energia, manter o conforto necessário para o ambiente e atingir um retorno econômico que viabilize as substituições.

²¹ Luxímetro: equipamento utilizado para realizar as medições de iluminância nos ambientes, da marca Minipa, modelo MLM-1011, que apresenta:

- Faixa de medição: 999/2.000/20.000/100.000 lux;
- Precisão: $\pm(4\% \text{ leitura} + 0,5\% \text{ f.e.})$.

5.3.2. Medidas de nível de iluminação e Proposta de Iluminação

As Tabelas 12, 13, 14 e 15 representam, respectivamente, os quatro pavimentos existentes no prédio e indicam os níveis de iluminância com base na NBR-5382, essa divisão visa facilitar a compreensão dos dados a seguir apresentados. Há também, a quantidade existente e proposta de luminárias. Para fins de cálculos foram considerados os seguintes parâmetros atuais:

- Fator de depreciação: 0,8;
- Fator de utilização: reflexão do teto em 50%, parede 30% e piso 10%;
- Fluxo luminoso por lâmpada: 2400 lúmens;
- Vida útil: 7.500 horas.

Os demais parâmetros dizem respeito às características e dimensões de cada ambiente. As planilhas apresentam as quantidades de luminárias existentes e quantas seriam necessárias para atender os índices de iluminação, de acordo com a norma, ou substituir para obter eficiência na iluminação.

TABELA 12 – Salas analisadas no Térreo.

Pavimento	Sala	Iluminância Média (lux)	Iluminância NBR-5413	Luminárias Existentes 2x40 W	Luminárias Existentes 4x40 W	Luminárias Propostas 2x28 W
1	101	561	500		21	18
1	102	180	200	1	2	6
1	103	347	750		1	6
1	104	450	200		1	2
1	112	495	500	1	11	18
1	116a	402	500		2	4
1	116b	350	500	2	4	6
1	116c	343	500	2	4	8
1	Corredor	456	100		13	10

TABELA 13 – Salas analisadas no 2º Pavimento.

Pavimento	Sala	Iluminância Média (lux)	Iluminância NBR5413	Luminárias Existentes 2x40 W	Luminárias Existentes 4x40 W	Luminárias Propostas 2x28 W
2	201	375	500	3	3	9
2	202a	387	500		9	12
2	202b	562	500	1	6	9
2	202c	512	500	1	6	10
2	202d	453	500		7	9
2	212a	430	500	1	2	6
2	212b	370	500		7	12
2	212c	538	500	1	5	9
2	212d	489	500	1	10	22
2	212e	384	500	1	5	9
2	Corredor	324	100		8	8

TABELA 14 – Salas analisadas no 3º Pavimento.

Pavimento	Sala	Iluminância Média (lux)	Iluminância NBR5413	Luminárias Existentes 2x40 W	Luminárias Existentes 4x40 W	Luminárias Propostas 2x28 W
3	301a	425	500		7	15
3	302a	547	500		9	12
3	302b	492	500		2	4
3	303	578	500		6	6
3	304	521	500	1	20	23
3	305a	478	500	1	7	15
3	305b	613	500		4	9
3	305c	546	500	1	4	9
3	Corredor	145	100	1	7	8

TABELA 15 – Salas analisadas no 4º Pavimento.

Pavimento	Sala	Iluminância Média (lux)	Iluminância NBR5413	Luminárias Existentes 2x40W	Luminárias Existentes 4x40W	Luminárias Existentes 2x28W
4	401a	497	500	1	2	6
4	401b	542	500		3	6
4	402	549	500	3	8	12
4	403	621	500	3	6	12
4	404	674	500		11	15
4	405	512	500	1	11	15
4	406	631	500	1	8	12
4	407	574	500		8	12
4	408	523	500		6	6
4	Corredor	142	100	1	7	8

As quantidades de luminárias e sua distribuição física foram calculadas através o software *Softlux 2.2* da Itaim Iluminação. Toda a proposta foi baseada na substituição das

luminárias de 2x40 W e 4x40 W por luminárias de 2x28 W, motivada pelas características excelentes de eficiência energética que as lâmpadas de 28 Watts apresentam seus reatores e luminárias, que serão detalhadas a seguir, conforme Figura 45, que faz uma comparação entre as lâmpadas de 28, 32 e 40 Watts:



FIGURA 45 – Comparação entre as lâmpadas.

- Lâmpada fluorescente tubular de 28 W:
 - Fluxo Luminoso: 2900 lm;
 - IRC: 80-89;
 - Temperatura da Cor: 4000K;
 - Vida útil: 18.000 horas;
 - Eficácia luminosa: ~103 lm/W.
- Reator eletrônico 2x28 W (conforme Figura 46):
 - Consumo total: 61 Watts;
 - Fator de fluxo luminoso médio: 1,00;
 - Fator de potência: 0,95 – 1,00.



FIGURA 46 – Reatores 2x28 W.

- Luminária de embutir 2x28 W (conforme Figura 47):
 - Com refletor de alumínio anodizado de alto brilho;

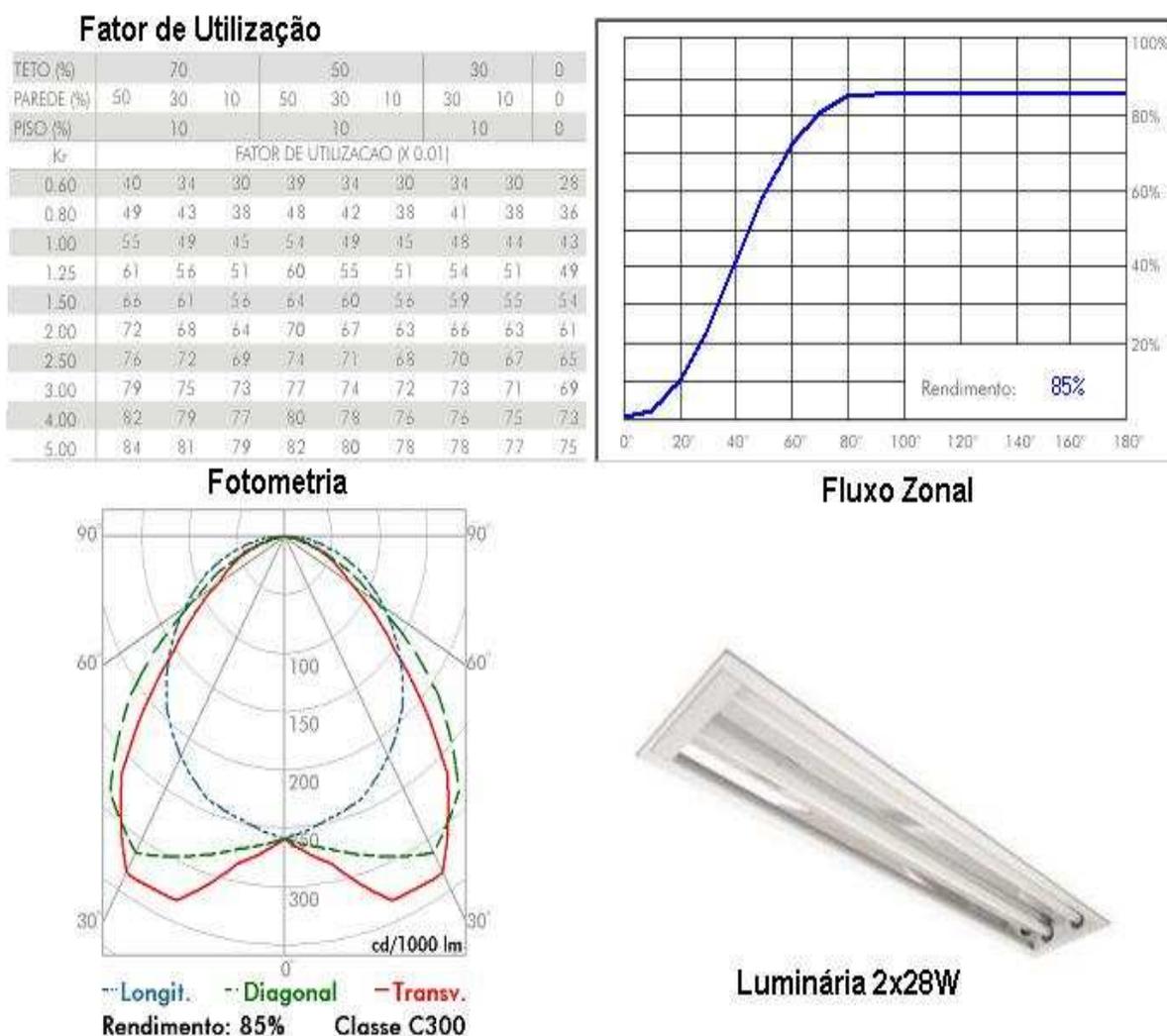


FIGURA 47 – Especificações da luminária proposta.

5.3.3. Análise dos Resultados

A disposição atual das luminárias em todo o prédio, conforme Figura 44, esta de forma desalinhada, que ocasiona zonas de baixíssimo fluxo luminoso entre zonas de alto fluxo no mesmo ambiente. Dessa maneira, propõe-se uma redistribuição das luminárias a serem trocadas de forma a serem dispostas de maneira equidistantes entre si.

A Tabela 17 apresenta os resultados de redução no consumo e conservação de energia com a adoção dessa proposta de iluminação para a instalação com base em orçamentos

demonstrados na Tabela 16, estes valores são a média dos preços praticados em três lojas do mercado local de materiais elétricos. Como os investimentos mais elevados da proposta são com a aquisição das luminárias, foi considerada ainda, a hipótese de se efetuar apenas a adequação das lâmpadas e reatores, deixando a substituição das luminárias para outro projeto.

TABELA 16 – Orçamento dos equipamentos.

Material	Preço Unitário Médio
Lâmpada 28 W	R\$ 12,96
Reator duplo eletrônico Bivolt	R\$ 45,44
Luminária (2x28 W)	R\$ 87,07

TABELA 17 – Resultado da Análise.

	Situação Atual	Proposta
Tipo Lâmpadas	40 W	28 W
Quant. Lâmpadas	1102	796
Pot. Total em kW (reator+lâmpadas)	54,92	25,63
Consumo médio Mensal Fora Ponta (kWh)	5542	2425
Consumo médio Mensal na Ponta (kWh)	259	121
Economia Mensal	R\$ -	R\$ 694,80
		Investimento Inicial
Luminária Completa	R\$ -	R\$ 63.057,79
Reator+Lâmpadas	R\$ -	R\$ 28.403,93
		Período de Retorno do Investimento (c/ SELIC²² 10,75%a.a)
Luminária Completa	-	5,83 anos
Reator+Lâmpadas	-	3,06 anos

Para efeitos de cálculos foi considerada, segundo catálogos de fornecedores, a potência total, entre reator e duas lâmpadas de 40 W, 90 Watts, e potência total para o conjunto, reator e duas lâmpadas de 28 W, 61 Watts. A redução de potência instalada para o sistema de iluminação do prédio chegou ao valor de 60% no primeiro pavimento e obteve média de 53% entre todos os pavimentos.

²² Taxa do SELIC: Conforme o BACEN (2010), é a taxa apurada do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia – SELIC, obtida a partir das operações de financiamento por um dia, lastreadas em títulos públicos federais e cursadas no referido sistema.

5.4. Climatização de ambientes

Conforme dito, anteriormente, no consumo de energia elétrica em prédios públicos 48% deve-se aos sistemas de ar condicionado. Desse modo, é imprescindível para qualquer projeto de conservação de energia o estudo desses sistemas e da distribuição das cargas térmicas.

O maior problema apresentado nesta instalação é a presença de equipamentos de ar condicionado de janela com mais de 30 anos de uso, pois, devido a uma tecnologia ultrapassada necessitam de manutenção constante e possuem um consumo muito maior que os equipamentos atuais. Desse modo, o ideal será a substituição dos aparelhos antigos por novos, e mais eficientes energeticamente. A substituição dos aparelhos obsoletos foi estimada em torno de 75%, ou seja, 40 aparelhos existentes no prédio. Os aparelhos de ar condicionado do tipo Split são apenas 9%, pois o restante são aparelhos de ar condicionado tipo janela.

5.4.1. Sistema de ar condicionado atual e proposta de cálculo de carga térmica

Os dados levantados no prédio, em ambientes climatizados, apontam para apenas 14% das salas com dimensionamento correto dos aparelhos, o restante das salas estão muito acima ou abaixo das capacidades dos aparelhos de ar condicionado. A metodologia adotada, segundo capítulo anterior, foi a estimativa de carga térmica considerando verão e com os fatores multiplicados, conforme o ambiente, pelas aéreas das salas para obter a carga mínima a ser considerada. No Quadro 8 constam os fatores utilizados para cada ambiente.

Ambiente	Fator (BTU/h por m²)
Escritórios em Geral	462,86
Auditórios	775,03
CPD	857,14

QUADRO 8 – Fatores de multiplicação para cálculo de carga térmica.

A Tabela 18 apresenta as áreas das salas por pavimento, os aparelhos existentes, a carga instalada e necessária, e a proposta para troca ou redistribuição.

TABELA 18 – Sistema proposto de climatização para o prédio.

Pavimento	Sala	Área (m ²)	Tipo	Instalado (BTU/h)	Quant.	Total (BTU/h)	Cálculo Carga Térmica (BTU/h)	Quant.	Climatizador Necessário (BTU/h)
1	101	119,8	Janela ²³	21.000	2	72.000	55.451	2	30.000
1			Janela	30.000	1				
1	102	44,1	Janela	30.000	1	30.000	20.398	1	21.000
1	103	11,8	Janela	18.000	1	18.000	5.473	1	9.000
1	104	11,8	Janela	30.000	1	30.000	5.473	1	9.000
1	112	93,1	Janela	21.000	2	60.000	43.105	1	18.000
1			Janela	18.000	1			30.000	
1	116a	14,6	Janela	21.000	1	21.000	6.765	1	9.000
1	116b	54,7	Janela	21.000	2	42.000	25.338	1	30.000
1	116c	53,3	Janela	21.000	1	21.000	24.660	1	30.000
2	201a	19,1	Janela	21.000	1	21.000	8.858	1	12.000
2	201b	55,4	Janela	21.000	1	21.000	25.621	1	30.000
2	201d	86,4	Janela	30.000	2	60.000	39.983	2	21.000
2	201e	45,9	Janela	21.000	1	21.000	21.244	1	30.000
2	201f	33,6	Janela	21.000	1	21.000	15.538	1	18.000
2	202a	56,3	Janela	21.000	2	42.000	26.037	1	30.000
2	202b	41,6	Split ²⁴	18.000	2	36.000	19.272	1	21.000
3	301b	74,4	Split	36.000	1	36.000	57.661	2	30.000
3	302a	55,8	Janela	21.000	2	42.000	25.849	1	30.000
3	302b	15,6	Janela	10.000	1	10.000	7.241	1	12.000
3	303	27,5	Janela	18.000	2	36.000	12.731	1	18.000
3	304	109,7	Janela	21.000	3	63.000	50.757	3	18.000
3	305b	36,7	Janela	21.000	1	21.000	16.972	1	18.000
3	305c	41,9	Janela	21.000	2	42.000	19.373	1	21.000
4	401a	30,8	Janela	12.000	1	12.000	14.242	1	18.000
4	401b	30,9	Janela	21.000	1	21.000	14.292	1	18.000
4	402	51,0	Janela	21.000	1	21.000	23.607	1	30.000
4	403	56,2	Janela	21.000	1	21.000	25.991	1	30.000
4	404	74,9	Janela	21.000	1	57.000	34.664	2	18.000
4			Janela	18.000	2				
4	405	74,6	Janela	21.000	2	42.000	34.517	2	18.000
4	406	56,6	Janela	21.000	1	21.000	26.184	1	30.000
4	407	50,6	Janela	21.000	1	51.000	23.422	1	30.000
4			Janela	30.000	1				
4	408	30,8	Janela	21.000	1	21.000	14.251	1	18.000

²³ Ar Condicionado tipo Janela – ACJ: unidade compacta com evaporizador e condensador juntos.

²⁴ Ar Condicionado tipo Split: apresentam a unidade de condensação separada da unidade evaporizadora.

5.4.2. Análise dos Resultados

A Tabela 19 lista a carga instalada do sistema de ar condicionado do prédio e a Tabela 20 a redução com o estudo proposto. Está análise de consumo de energia elétrica de cada aparelho foi realizada com base no PROCEL – Sistemas de ar condicionado e refrigeração, elaborado pelo Engenheiro Sérgio Meirelles Pena em Julho de 2002.

TABELA 19 – Carga Instalada no prédio.

Tipo	Cap. Unitária (BTU/h)	Pot. Unitária (kW)²⁵	Quant.	Cap. Total (BTU/h)	Pot. Total (kW)
Janela	10.000	2,930	1	10.000	2,930
Janela	12.000	3,516	1	12.000	3,516
Janela	18.000	5,274	6	108.000	31,644
Janela	21.000	6,153	35	735.000	215,355
Janela	30.000	8,790	6	180.000	52,740
Split	12.000	3,516	1	12.000	3,516
Split	18.000	5,274	2	36.000	10,548
Split	21.000	6,153	1	21.000	6,153
Split	36.000	10,548	1	36.000	10,548
TOTAIS			54	1.150.000	336,950

TABELA 20 – Carga proposta de substituição para o prédio.

Tipo	Cap. Unitária (BTU/h)	Pot. Unitária (kW)	Quant.	Cap. Total (BTU/h)	Pot. Total (kW)
Janela	9.000	2,637	3	27.000	7,911
Janela	12.000	3,516	2	24.000	7,032
Janela	18.000	5,274	14	252.000	73,836
Janela	21.000	6,153	4	84.000	24,612
Janela	30.000	8,790	13	390.000	114,27
Split	12.000	3,516	1	12.000	3,516
Split	21.000	6,153	1	21.000	6,153
Split	30.000	8,790	2	60.000	17,58
TOTAIS			40	870.000	254,910

Observou-se uma redução de aproximadamente 25% no montante de potência instalada de ar condicionado. Entretanto, esse valor não corresponde à potência elétrica requerida pelos equipamentos, mas a capacidade de retirar calor do ambiente, conforme orientação técnica da Eletrobrás realizada por PENA (2002).

²⁵ 10^6 BTU/h = 0,293 MWh, conforme PENA (2002).

Para equipamentos de refrigeração é possível caracterizá-los pelo Coeficiente de Performance - COP, expresso pela equação (25):

$$COP = \frac{\text{Energia útil (capacidade térmica)}}{\text{Energia gasta (consumo)}} = \frac{Q_o}{W_c} \quad (25)$$

Onde:

Q_o = quantidade de calor retirada do ambiente por unidade de tempo;

W_c = potência elétrica consumida.

Isto é, a potência elétrica total instalada de ar condicionado é inferior à apresentada nas Tabelas 19 e 20, de um fator correspondente ao COP. Os valores típicos de COP assumidos, conforme PENA (2002, p. 66), são:

- Ar Condicionado de Janela – ACJ = 2,61 BTU/h por W;
- Split = 2,40 BTU/h por W.

Então, chegou-se ao valor de potência instalada para o atual sistema de 130,13 kW e para a proposta de climatização do prédio em 98,58 kW. Resultando no mesmo patamar de redução de gastos, 25%, já mencionado, contudo em cima de valores mais próximos da realidade da instalação. A Tabela 21 apresenta os resultados econômicos da substituição dos aparelhos antigos (apenas os ACJ, pois os Split foram adquiridos recentemente) por novos.

TABELA 21 – Análise da adequação do Sistema de Climatização

	Situação Atual	Proposta
Quant. Equipamentos ACJ	54	40
Pot. Total em kW (reator+lâmpadas)	130,131	98,580
Horas de Uso Mensal	200	200
Consumo médio Mensal Fora Ponta (kWh)	10393	7873
Consumo médio Mensal na Ponta (kWh)	517	392
Economia Mensal	-	R\$ 631,71
Investimento Inicial	-	R\$ 52.364,00
Período de Retorno do Investimento (c/ SELIC 10,75%a.a)		
Anos	-	5,44
Economia Líquida em 10 anos	-	R\$ 23.441,69

A Tabela 22 apresenta os valores de mercado²⁶ considerados para cada aparelho de ar condicionado de janela – ACJ conforme suas capacidades de refrigeração e o custo total necessário para suas substituições.

TABELA 22 – Custos para aquisição dos novos aparelhos ACJ

Cap. Unitária (BTU/h)	Quant.	Preço Unitário	Preço Total por Modelo
9.000	3	R\$ 699,00	R\$ 2.097,00
12.000	2	R\$ 999,00	R\$ 1.998,00
18.000	14	R\$ 1.259,00	R\$ 17.626,00
21.000	4	R\$ 1.489,00	R\$ 5.956,00
30.000	13	R\$ 1.899,00	R\$ 24.687,00
Total			R\$ 52.364,00

Os parâmetros utilizados para os cálculos de carga térmica foram baseados em valores médios por metro quadrado, porém análises muito mais detalhadas de climatização de ambientes permitirão obter resultados mais precisos. Todavia, este não é o tema central desse trabalho e restringiu-se em apontar um aspecto importante na realização da eficiência energética desta instalação em estudo.

²⁶ Os valores apresentados para os aparelhos de ar condicionados foram obtidos em sites de grandes lojas do mercado varejista brasileiro.

5.5. Análise Tarifária

Esta seção verificará oportunidades de redução dos gastos em energia elétrica a partir das faturas mensais. Os resultados que serão apontados aqui levam em consideração o comportamento de consumo e demanda nos segmentos horários (ponta e fora de ponta) e sazonais (período seco e úmido) da instalação. Conforme já dito no início deste capítulo, a unidade consumidora está enquadrada no sistema tarifário horo-sazonal verde, subgrupo A4 e tensão de fornecimento igual a 13,8 kV.

Através do histórico de consumo, constatou-se que, em alguns meses, houve o faturamento de ultrapassagem de demanda, e em outros meses demanda ociosa. Com essa constatação foram determinados valores de demanda contratual para evitar a cobrança de ultrapassagem de demanda ou solicitação de demanda em excesso à concessionária.

As Figuras 48 e 49 apresentam, respectivamente, o histórico de consumo e de demanda da unidade consumidora no período entre julho de 2008 e junho de 2010.

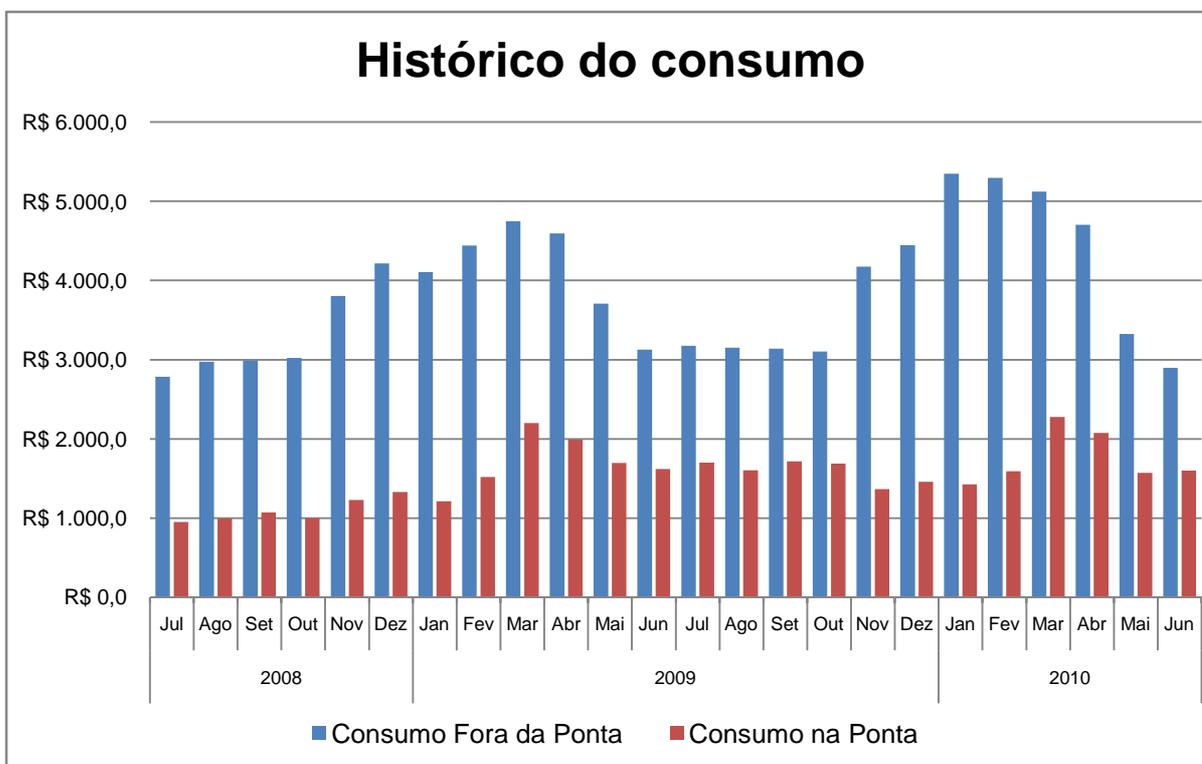


FIGURA 48 – Histórico de consumo nos horários de ponta e fora de ponta.

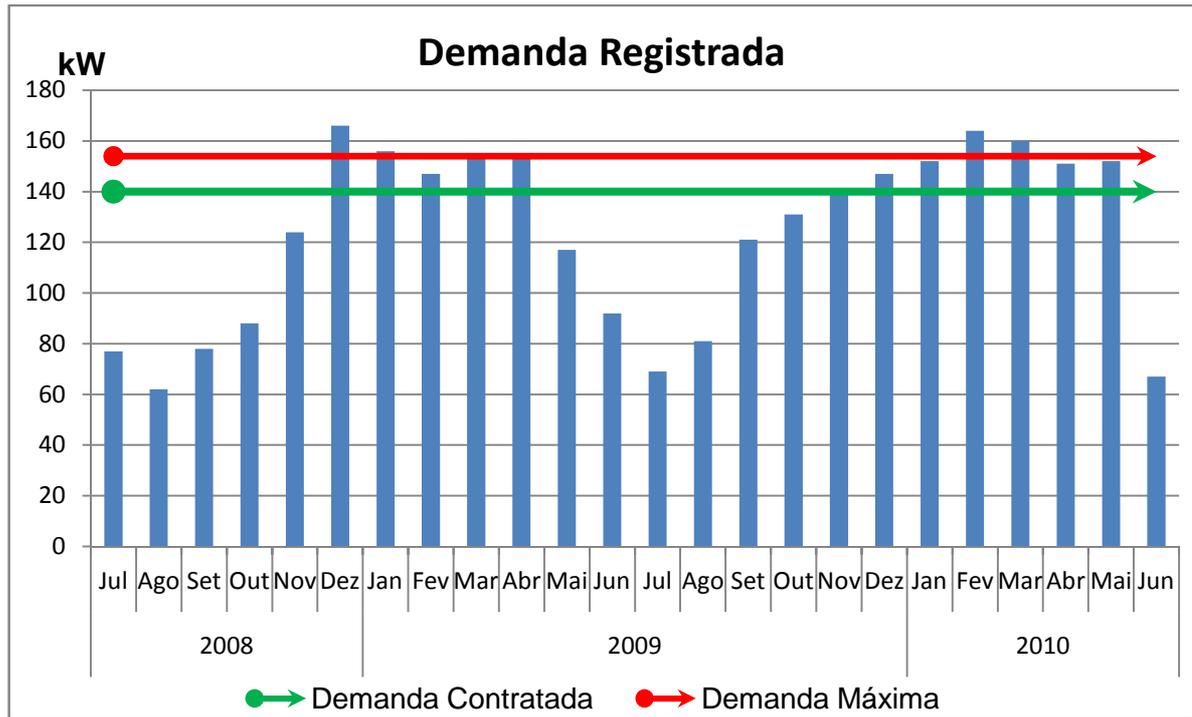


FIGURA 49 – Histórico de demanda.

As Figuras 50 e 51 apresentam, respectivamente, a proposta de alteração dos valores de demanda considerando o histórico de consumo da unidade e a economia obtida no período.

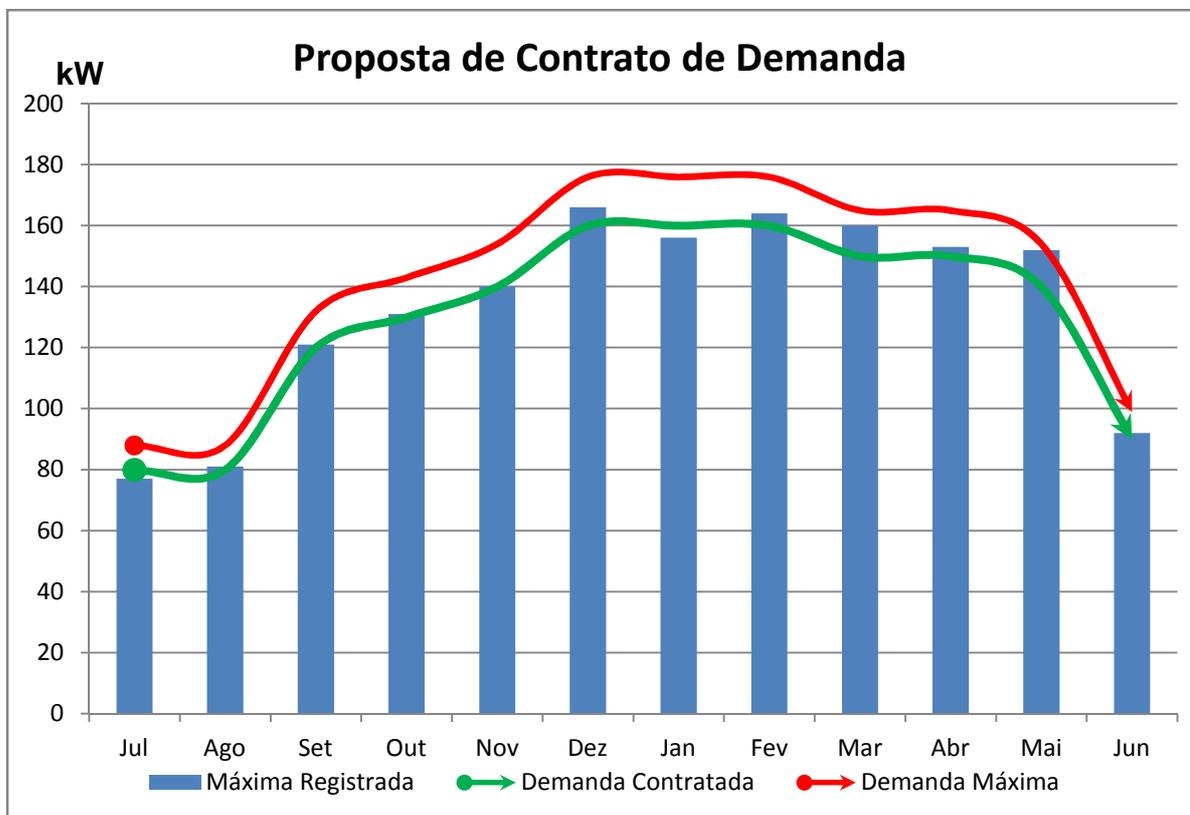


FIGURA 50 – Simulação para contratação de demanda.

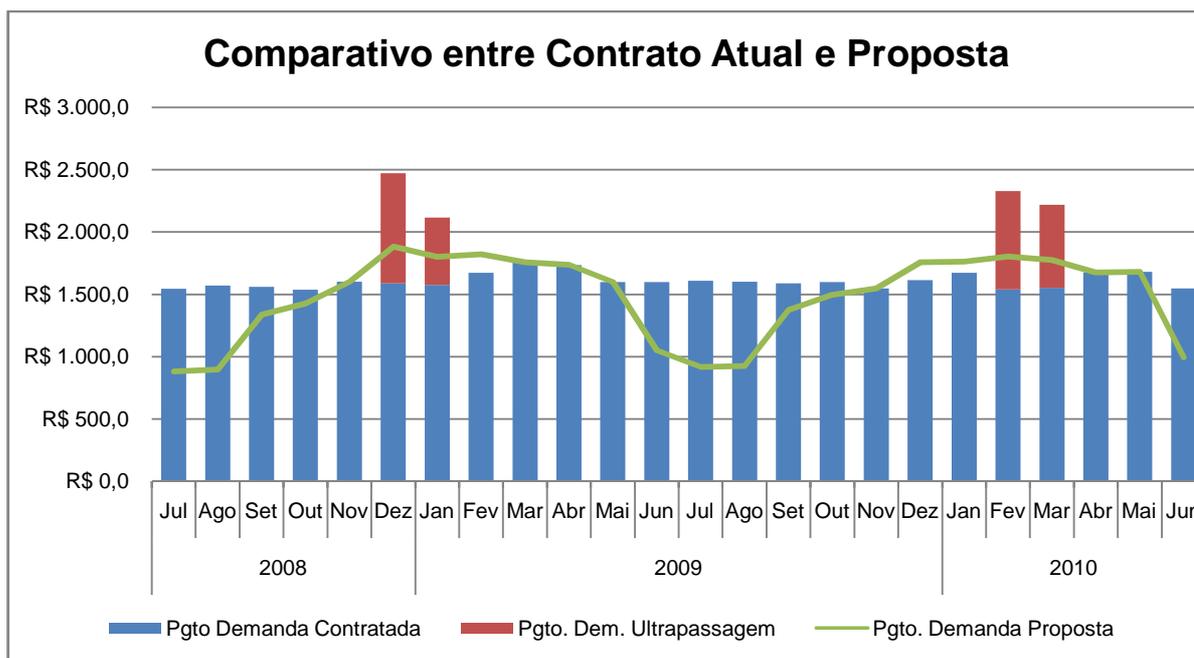


FIGURA 51 – Gastos históricos de demanda e ultrapassagem e demanda proposta.

A contratação da proposta de demanda trará uma redução média mensal nos custos de R\$ 247,84, ou seja, R\$ 2.974,07 anuais, que representa dentro do período analisado, dois anos, uma redução nos gastos com demanda contratada de, aproximadamente, 15%.

5.5.1. Enquadramento Tarifário

As informações registradas na fatura de energia elétrica da unidade consumidora, com tarifação horo-sazonal verde, não apresentam dados suficientes para análise da tarifação horo-sazonal azul, pois, são necessários os valores de demandados na ponta e fora da ponta. Contudo, a concessionária disponibiliza para os consumidores de alta tensão o histórico básico, de acordo com o medidor existente em cada instalação, onde foi possível obter tais dados dos últimos 24 meses.

Para analisar uma possível alteração na modalidade de tarifação desta unidade consumidora serão apresentadas as curvas típicas de carga semanal e de um dia útil. Estes dados foram obtidos a partir da memória de massa fornecida pela concessionária mediante o pagamento de uma taxa (cobrada diretamente na fatura de energia elétrica) para cobrir,

segundo os técnicos da própria concessionária, custos operacionais. As Figuras 52 e 53 apresentam, respectivamente, a curva de carga semanal e a curva de carga em um dia típico da instalação.

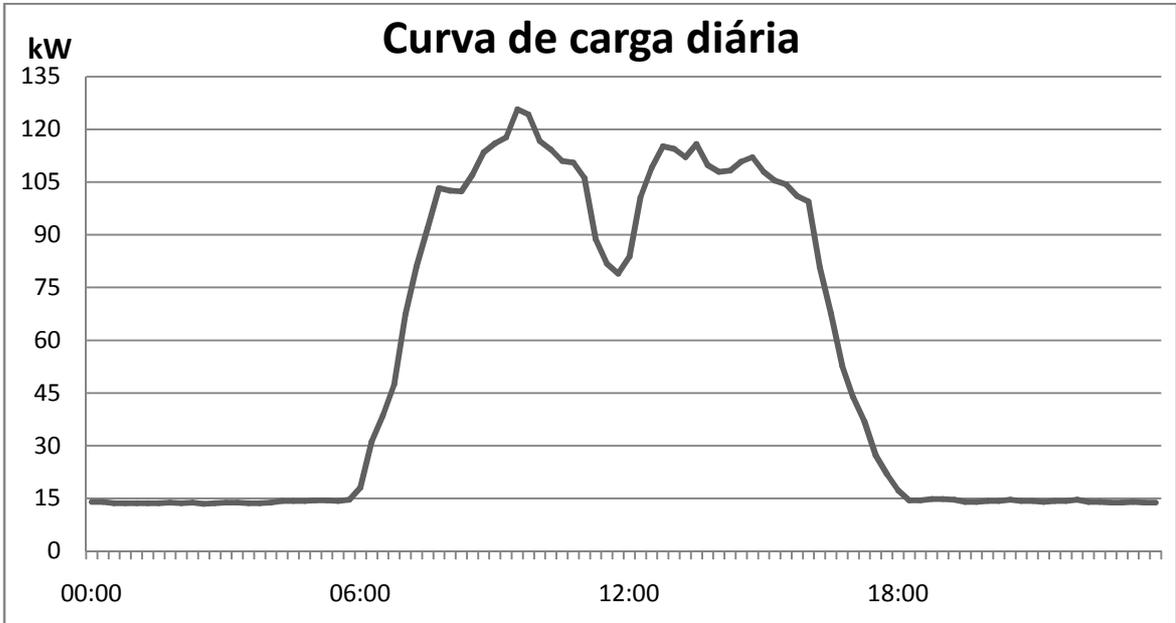


FIGURA 52 – Curva de carga em um dia típico.

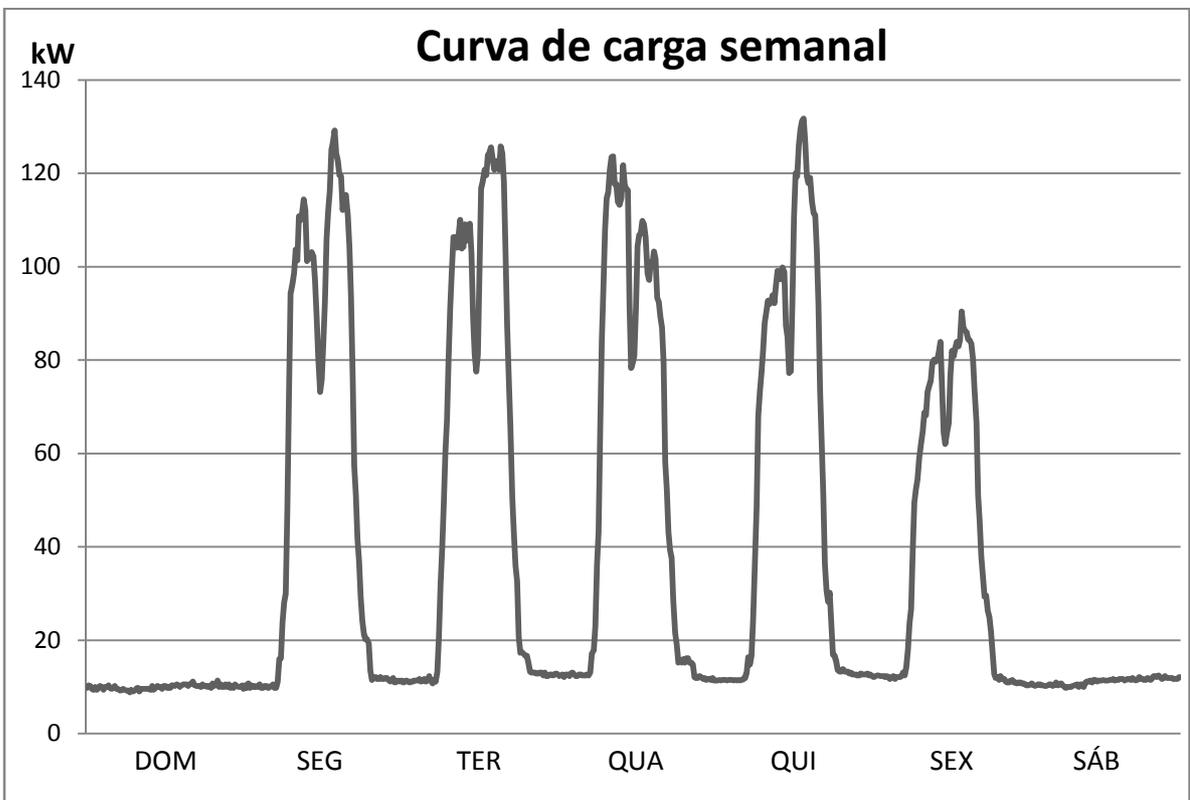


FIGURA 53 – Curva de carga de uma semana típica.

As curvas de carga do dia típico e de uma semana típica de uma instalação representam o comportamento da solicitação de potência *versus* o tempo ao longo de um dia ou semana de expediente normal. Isto é, de grande utilidade para referenciar análises para melhorias do fator de carga e enquadramento tarifário.

Com base nas duas curvas de carga, observou-se que a semelhanças são motivadas pelas atividades exercidas no prédio. Nota-se que próximo das 07 horas da manhã há um aumento grande da demanda, que se mantém alto durante o horário comercial, e às 19 horas, quando se encerra o período diário de funcionamento, retorna aos patamares para atendimento de cargas essenciais e perdas do transformador. O mesmo que foi avaliado para o dia típico se aplica para a semana típica, haja vista que a atividade da instituição é repetitiva.

Nas simulações realizadas comparando as opções de modalidade tarifária convencional AT, horo-sazonal verde e horo-sazonal azul, foram utilizados os valores das tarifas disponíveis pela concessionária com referência a 2009. Dessa maneira, consideraram-se apenas os dozes meses deste mesmo ano para está análise conforme Figura 54, já acrescidos de ICMS. Onde se percebeu que a atual opção, horo-sazonal verde, é mais vantajosa economicamente. As demais opções, horo-sazonal azul e convencional AT, representariam um acréscimo anual de, respectivamente, 30% e 41%.

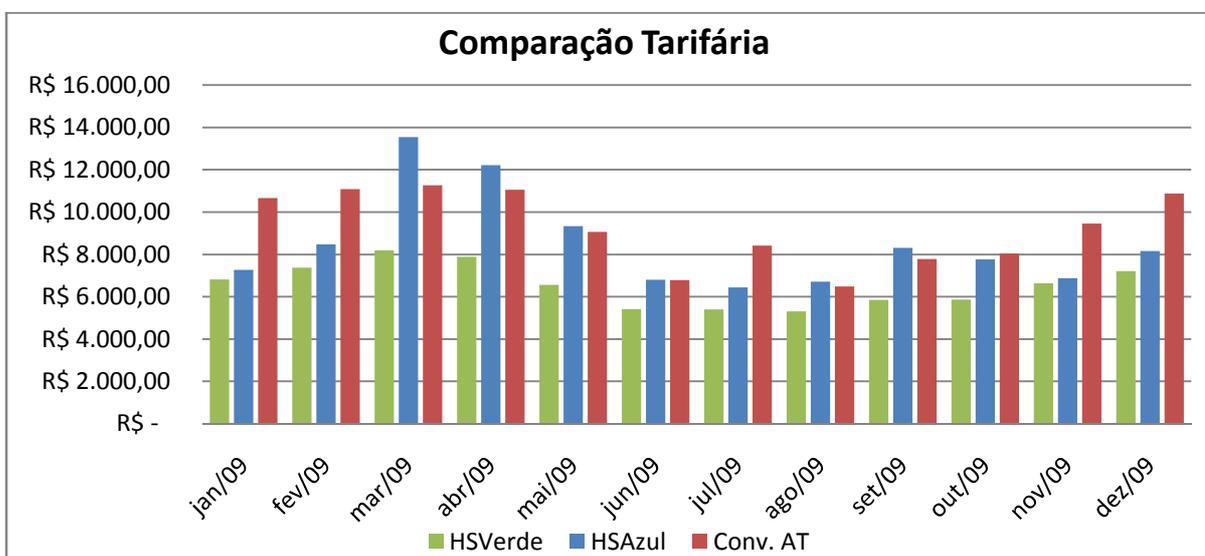


FIGURA 54 – Comparações tarifárias entre as três modalidades de alta tensão.

5.5.2. Análise dos Resultados

Não obstante a troca de modalidade tarifária e dos valores de contrato não sirva diretamente para uma diminuição do consumo de energia elétrica da unidade consumidora, esta pode proporcionar uma redução dos gastos com o fornecimento de energia. Pois, uma vez que a estrutura tarifária atual onera o custo da energia em horários do dia e períodos do ano onde as condições de fornecimento são mais críticas. Além do mais, este foi o principal objetivo do MME com a implantação do sistema tarifário com modalidades diferenciadas baseadas nos custos de operação e de expansão do sistema elétrico. A modalidade tarifária horo-sazonal verde permanece mais interessante economicamente para a unidade consumidora, pois a mudança para a modalidade horo-sazonal azul representaria um acréscimo mensal de R\$ 1.948,26.

Outra situação observada foram os valores gastos com demanda contratada (ociosa) sem efetivamente utilizar durante os meses onde a demanda solicitada a rede é menor. Porém, são mantidos os mesmos valores de demanda contratada. A alteração do contrato de demanda com a concessionária resultará numa economia anual de 15%, como foi mostrado anteriormente, e esta simples atitude já representaria uma redução considerável nos custos totais com energia elétrica nesta instalação com economias mensais acima de R\$200,00.

5.6. Correção do Fator de Potência

As curvas do fator de potência obtidas a partir da memória de massa, com auxílio do *software* ELO 50, fornecida pela distribuidora de energia local indicam que em alguns períodos do dia, o FP é igual ou superior a 0,92 indutivos, enquanto que ao término do expediente o FP decai a valores próximos de 0,60 indutivos. Na Figura 55 fica evidente o comportamento exclusivamente indutivo da carga da presente na instalação, haja vista, que entre a 00:00 horas e 06:00 horas a concessionária cobra apenas FP capacitivo.

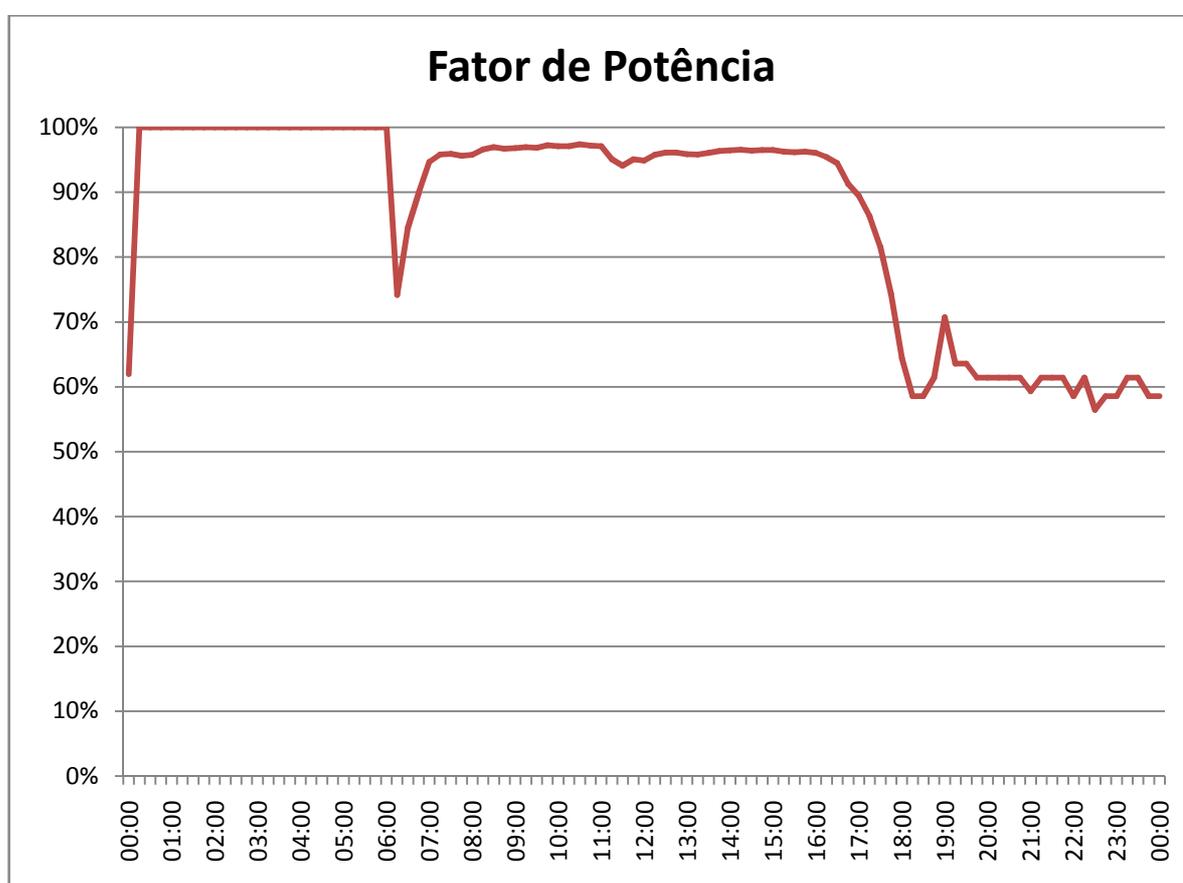


FIGURA 55 – Curva do Fator de Potência diário típico.
Fonte: ELO (2009).

5.6.1. Energia Reativa

A parcela da fatura de energia elétrica correspondente a energia reativa excedente – FER, devido ao fator de potência abaixo de 0,92, cobrada pela concessionária está fundamentada nos Artigos 64 a 69 da Resolução nº 456 da ANEEL/2000. A Figura 56

apresenta o montante pago pelo consumo de energia reativa excedente da unidade consumidora, nos horários de ponta e fora de ponta. O valor pago médio mensal pela energia reativa excedente, no período de 24 meses, foi de R\$ 989,69, o que representa uma quantia anual de R\$ 11.876,30. Fazendo-se uma estimativa para os cinco anos anteriores, o gasto em energia reativa excedente passou dos R\$ 50.000,00.

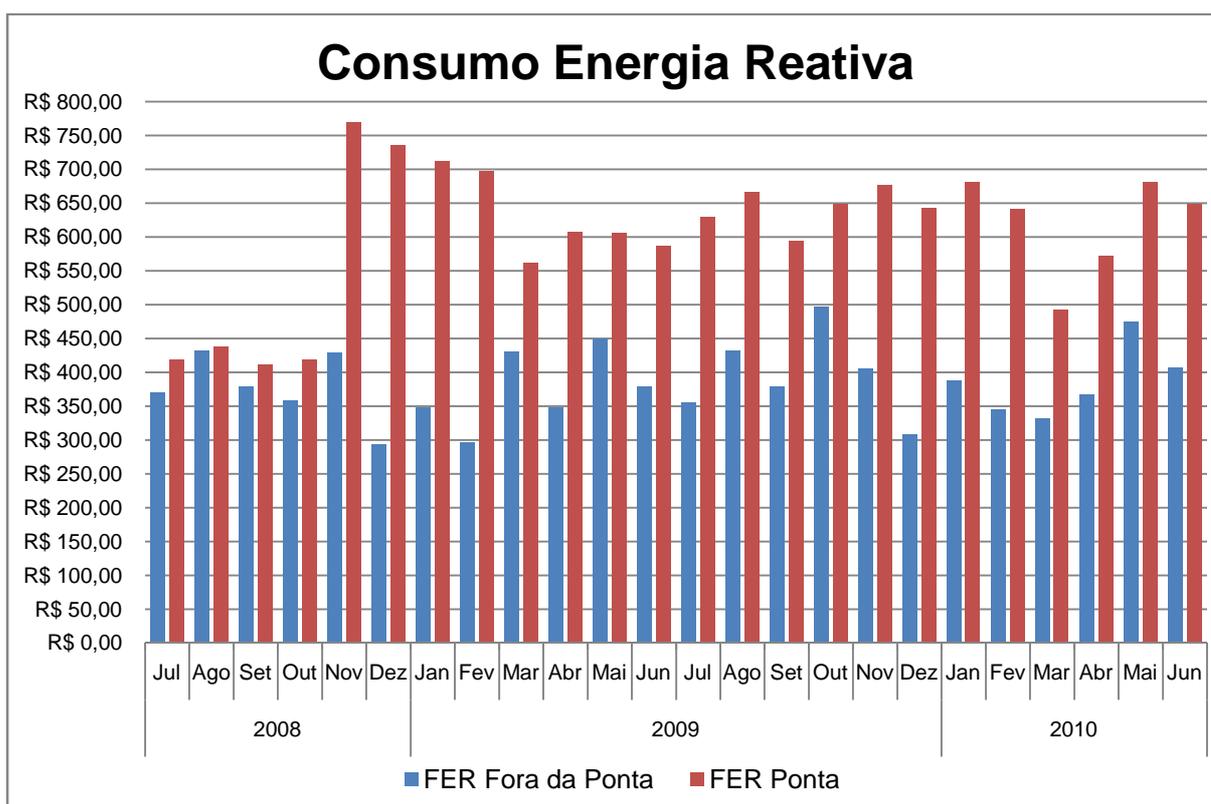


FIGURA 56 – Histórico do consumo de energia reativa.

5.6.2. Simulações para ajuste do Fator de Potência

As simulações realizadas para correção de fator de potência da unidade consumidora consideraram a utilização de bancos de capacitores fixos e banco de capacitores com *timer* programável. Visto que, os bancos programáveis permitem o desligamento durante o período onde é faturado apenas o baixo fator de potência capacitivo. A Figura 57 apresenta o comparativo entre as duas possibilidades de banco de capacitores a serem instalados.

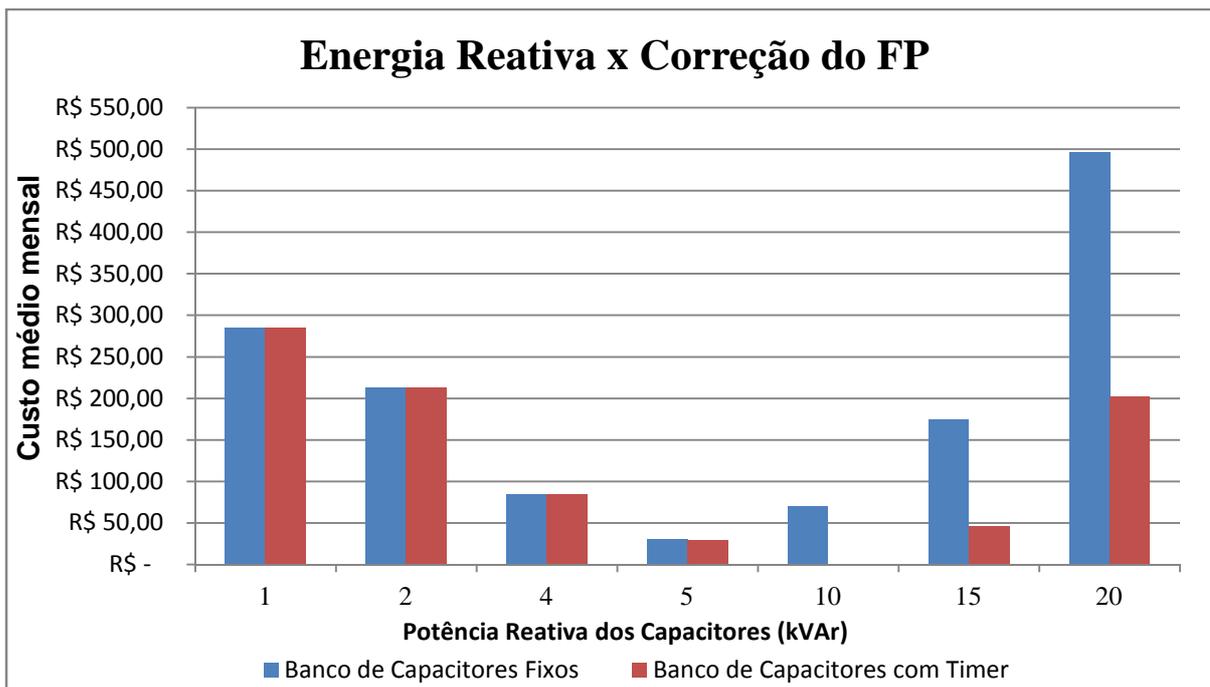


FIGURA 57 – Comparativo entre a instalação do banco de capacitores fixo e programável.

5.6.3. Análise dos resultados

A presença de carga indutiva nesta instalação gera um custo mensal que corresponde a 12% do gasto total em energia elétrica. A correção do fator de potência por banco de capacitores evitará o faturamento de energia reativa excedente pela empresa distribuidora de energia elétrica. Por conseguinte, liberará a capacidade dos transformadores da instalação para futuras inserções de cargas e promoverá o uso racional da eletricidade. Os bancos de capacitores têm como função principal a compensação reativa capacitiva, dessa maneira, os bancos de capacitores fixos podem tornar-se desvantajosos se empregados sozinhos. Isso se deve ao fato da cobrança das quantidades excedentes de fator de potência capacitivo durante o período diário de seis horas definidos pela concessionária.

Se for considerada a utilização de um banco de capacitores fixos, para esta unidade consumidora, de 5 kVAr a redução mensal poderá chegar em média aos R\$ 959,27. Logo, os gastos com excedente de energia reativa diminuirão a 3% dos valores desembolsados hoje em dia. Já se optar pela utilização de um banco de capacitores com timer programável de 10

kVAr o abatimento dos gastos chegaria à zero. A Tabela 23 estabelece um comparativo entre a realidade atual e as duas propostas para a correção do fator de potência com o emprego de banco de capacitores.

TABELA 23 – Resultados da Análise para Correção do FP.

	Situação Atual	Banco Cap. Fixo 5 KVAR	Banco Cap. Prog. 10 KVAR
Fator de Potência Médio Mensal	0,76	0,93	0,94
Redução das Perdas	-	33%	35%
Potência Ativa Liberada %	-	22%	24%
Custo Médio Mensal de FER	R\$ 989,69	R\$ 38,59	R\$ -
Economia Mensal	R\$ -	R\$ 959,27	R\$ 989,69
Investimento Inicial Estimado	R\$ -	R\$ 1.300,00	R\$ 1.950,00
Período de Retorno do Investimento (c/ SELIC 10,75%a.a)			
Meses	-	1,49	2,00
Economia Líquida em 5 anos	-	R\$ 53.549,14	R\$ 57.431,50

6. VIABILIDADE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Por meio dos levantamentos de campo e das análises obtidas, chegou-se aos potenciais de conservação energético-econômicos da unidade consumidora, somado a isso, utilizou-se indicadores econômicos para avaliar os resultados das proposições que poderiam subsidiar a execução da efficientização energética desta instalação.

A metodologia para análise de investimento em Projetos de Eficiência Energética está muito bem detalhada no Guia Técnico para Financiamento de Projetos de Eficiência Energética disponibilizado pelo PROCEL (AFPEE – PROCEL, 2004). Neste guia são demonstradas técnicas de gestão de energia como fonte de receita, com base em ferramentas de análise financeira. Dessa maneira, possibilitando a comparação entre projetos com potenciais de conservação de energia.

Informações detalhadas de análise de investimentos e engenharia econômica podem ser encontradas com muita propriedade em CASAROTTO FILHO e KOPITTKE (2000). A viabilidade econômica das propostas do estudo de caso deste projeto foi definida através dos cálculos e análises dos índices:

- **Taxa Mínima de Atratividade – TMA:** WESTPHAL e LAMBERTS (2000, p. 2) descrevem que “a TMA, também chamada de taxa de desconto, é aquela paga pelo mercado financeiro em investimentos correntes (poupança, fundos de investimentos, etc.). Essa taxa é utilizada para representar os fluxos de caixa em valores presentes.”;
- **Valor Presente Líquido – VPL:** a partir do Manual do Consumo Inteligente, “o VPL indica a lucratividade de um investimento. Em geral, qualquer investimento que possua VPL maior q zero é considerado lucrativo e, na

seleção de opções de investimento” (CELESC, 2009), deverão ser priorizados os investimentos com maior VPL;

- **Taxa Interna de Retorno – TIR:** de acordo com WESTPHAL e LAMBERTS (2000, p. 2):

A TIR é a taxa de juros para a qual o somatório do Valor Presente do fluxo de caixa é nulo, no período de tempo adotado. Neste caso, ao comparar duas alternativas, considera-se despesas (saída de capital no fluxo de caixa) os custos com manutenção do sistema a ser avaliado e são considerados benefícios (entrada de capital no fluxo de caixa) os custos com manutenção do sistema tomado como base na análise (edifício com sistema atual). Quando a TIR de um investimento for superior à TMA à disposição do investidor, tal investimento é economicamente viável, dentro do período de estudo. Da mesma forma, ao comparar duas alternativas de investimento, a que oferecer TIR mais elevada possibilita o retorno do capital investido em menos tempo;

- **Prazo de Retorno do Investimento:** segundo LAPPONI (2000), o prazo de retorno de um projeto é a extensão de tempo necessária pra que seu fluxo de caixa se iguale ao investimento inicial. Para obter um resultado mais preciso considera-se a TMA na qual o investidor poderia ter aplicado seu capital a juros;
- **Relação Custo-Benefício – RCB:** de acordo com CELESC (2009):

A RCB indica quanto os custos correspondem em relação aos benefícios gerados pela efficientização de cada uso final. O cálculo da RCB global do projeto deverá ser efetuado por meio da média ponderada das RCBs individuais. Os pesos são definidos pela participação percentual de cada uso final na energia economizada. Na avaliação de projetos, quanto menor o valor da RCB – desde que seja inferior a 1,00 – mais atrativo será o investimento.

Os dados que serão apresentados a seguir comparando as propostas de conservação de energia em: iluminação, climatização de ambiente, e correção do fator de potência consideraram para suas análises o período de 10 anos. Aos custos atribuídos para cada proposta levou-se em consideração apenas o material para implantação dos projetos, pois, o órgão público possui gerência de engenharia e pessoal técnico para realização dos serviços supracitados. A TMA adotada foi, novamente, a taxa do SELIC, haja vista, que a partir dela originam-se as taxas de juros efetivamente praticadas no mercado.

Cabe dizer ainda, que as propostas relacionadas com a análise tarifária não constam neste comparativo, pois, a modalidade tarifária vigente mostrou-se mais econômica e os resultados obtidos pela readequação do contrato de demanda não possui custo de implantação. Portanto, o ajuste dos contratos de demanda deverá ser solicitado junto a concessionária o quanto antes para evitar novos desperdícios ou gastos por ultrapassagem.

A Tabela 24 apresenta as análises financeiras das propostas sugeridas neste projeto e os resultados econômicos aferidos a partir dos índices financeiros anteriormente apresentados.

TABELA 24 – Comparativo das propostas analisadas.

	Sistema de Iluminação		Climatização	Correção do FP	
	Completo	Reator+Lâmpadas	Substituição ACJ	5 kVAr Fixo	10 kVAr Prog.
Investimento Total	R\$ 63.057,79	R\$ 28.403,93	R\$ 52.364,00	R\$ 1.300,00	R\$ 1.950,00
TMA - SELIC (% a.a.)	10,75	10,75	10,75	10,75	10,75
TIR (% a.a.)	14,25	45,50	11,60	NA	NA
VPL	R\$ 7.437,19	R\$ 40.842,77	R\$ 1.972,99	R\$ 101.450,43	R\$ 123.443,10
Período de Retorno do Investimento corrigido (anos)	5,83	3,06	5,37	0,11	0,17
RCB	0,85	0,18	1,00	0,01	0,01
Redução de demanda (kW)	7,29	7,29	8,05	NA	NA
% de Redução da demanda de toda a instalação	5,70	5,70	6,30	NA	NA
Energia poupada/ano (MWh)	51,25	51,25	94,48	NA	NA
% de Redução do Cons. de Energia	18,28	18,28	34,00	96,93	100,00
Red. Custo E. Elétrica anual	R\$ 14.189,54	R\$ 14.189,54	R\$ 15.681,63	R\$ 11.511,23	R\$ 11.876,30
Red. Custo E. Elétrica anual (%)	14,05	14,05	15,53	11,40	11,76
Resultado econômico	Para Implementação Futura	Favorável	Para Implementação Futura	Favorável	Favorável

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho procurou mostrar que é possível implementar projetos para redução dos desperdício de energia em prédios públicos com a exigência de baixos investimentos a curto prazo. Para tanto, incidindo nos quesitos que proporcionam as oportunidades de melhorias através da correção do fator de potência. A instalação de um banco de capacitores de 10 kVAr programável proporcionaria uma economia anual de R\$ 11.876,30, que representa uma redução mensal acima de 11% na fatura de energia elétrica.

A modalidade tarifária horo-sazonal verde, continua sendo a mais atraente economicamente para esta unidade consumidora. Pois, a alteração para a modalidade horo-sazonal azul representaria um aumento anual acima de R\$ 23.300,00 em relação à condição atual. Entretanto, a alteração do contrato de demanda dos constantes 140 kW, para os períodos úmido e seco, para valores de acordo com o histórico de cada período do ano e padrão de consumo mensal representará uma redução de gastos anual de R\$ 2.974,07, que teria representado uma redução do gasto com demanda contratada entorno de 15% no período analisado entre Julho/2008 e Junho/2010.

A proposta de substituição dos aparelhos de ar condicionado tipo janela, com mais de 20 anos de uso, mesmo apresentando um índice de redução do custo de energia elétrica aproximado de 15% não mostrou-se atrativa a curto e médio prazo, devido ao seu investimento inicial alto acima de R\$52.000,00. Portanto, o indicado neste caso seria a troca gradual dos equipamentos por outros de tecnologia atual com selo PROCEL de eficiência energética.

Por último, o sistema de iluminação eficiente proposto a partir da substituição de todas as luminárias, lâmpadas e reatores não é favorável na sua totalidade. Haja vista, que o preço de mercado das luminárias é muito alto o que deprecia a relação custo-benefício da

implantação completa de iluminação. Contudo, a troca de lâmpadas e reatores mostrou-se uma possibilidade plausível para obtenção de economia e redução do consumo de energia elétrica por menos da metade do investimento inicial da medida completa. Obviamente, os índices de iluminamento obtidos sem a troca das luminárias atuais pelas indicadas no projeto luminotécnico serão mais baixos, mas a economia anual será mesma de R\$14.189,54. Neste caso de inicialmente haver apenas a redução de potência das lâmpadas, hoje de 40 Watts para 28 Watts, seria necessário um trabalho de limpeza e manutenção das luminárias existentes para diminuir a influência da suas menores eficiências luminosas.

No caso das medidas mais favoráveis, a curto e médio prazo, fossem adotadas nesta instalação seria possível uma redução percentual do custo mensal total de energia elétrica em torno de 29%, conforme Tabela 25, já em longo prazo as reduções poderiam chegar a 45% com a substituição das luminárias e troca dos aparelhos de ar condicionado.

TABELA 25 – Redução Média Mensal dos Custos com Eletricidade

Custo Mensal Médio de Energia Elétrica		R\$ 8.112,13	
Medidas	Reduções Médias de Consumo Mensais	Reduções Percentuais	
Sistema de Iluminação Parcial	R\$ 1.139,75	14,05%	
Correção do Fator de Potência	R\$ 953,99	11,76%	
Recontrato de Demanda	R\$ 247,84	3,06%	
Custo Mensal Obtido de E. Elétrica	R\$ 5.770,55	28,87%	

As avaliações apontadas neste trabalho demonstram que são viáveis as reduções de consumo de energia elétrica sem o comprometimento do conforto já estabelecido. Tais reduções podem ser obtidas em todas as classes de consumo e possibilitariam a postergação de investimentos futuros em geração.

Os setores públicos deveriam incentivar e servir de referência para todos os outros com o emprego massivo de programas de gestão de energia. Os resultados obtidos com as ações propostas no estudo de caso de projeto para redução no uso da energia ou utilização

racional mostraram que a econômica média em curto prazo chegou próxima a 30%. O uso de energia elétrica pelo setor público apresenta um nível baixo de conservação de energia elétrica, em virtude na maioria dos casos, pelo emprego inadequado de sistemas de iluminação, descaso com a utilização de aparelhos de ar condicionado e instalações sem manutenção alguma. O maior motivo desse descaso ou ínfimo grau de efficientização no setor público deve-se, em sua maioria, pela falta de informação técnica e má divulgação dos projetos de eficiência promovidos pelos órgãos reguladores aos seus públicos alvos.

Os prédios da administração federal têm idade média acima de 24 anos e devido à falta de manutenção periódica o estado das suas instalações elétricas é de extrema precariedade. Isto leva ao mau funcionamento de equipamentos, aumento de perdas térmicas, custos adicionais imprevistos em virtudes de falhas e defeitos, e ao consumo ineficaz de energia elétrica. Tendo em vista que de nada adiantaria medidas de conservação de energia se forem esquecidos os cuidados básicos de segurança e manutenção preventivas em instalações elétricas.

Além das alternativas de conservação de energia citadas acima para esta unidade consumidora ou qualquer empresa, é indispensável a implantação de uma ação interna de efficientização energética. Visto que, todos os projetos propostos neste trabalho perderão seus efeitos ao longo do tempo, por mais resultados que proporcionem, sem o envolvimento de todos os empregados/funcionários. O programa interno de conservação de energia promoverá a racionalização e a utilização eficiente de energia através de orientações, direcionamentos e índices econômicos divulgados para mostrar que é possível manter o nível de conforto consumindo menos energia elétrica.

Para coordenar tal programa aconselhasse a criação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia – CICE. Para a comissão ficará a função da implantação, proposição

e acompanhamento das medidas concretas de conservação de energia, bem como o controle e divulgação das informações mais relevantes.

O estudo proposto neste trabalho dependerá e influenciará vários fatores que não foram considerados aqui. Alguns fatores previsíveis e outros imprevisíveis, porque todas as apreciações realizadas consideraram que o perfil de consumo de qualquer unidade se repetirá ou manterá um mesmo padrão comparado com os dados levantados. Um exemplo atual que influenciará de maneira incisiva na performance do consumo de energia elétrica são as mudanças climáticas. Para tanto, em trabalhos futuros, com o auxílio de métodos estatísticos de projeção, será possível a abordagem do comportamento da demanda em função das temperaturas médias diárias em cada região.

Outro enfoque viável de ser abordado é a influência de sistemas de iluminação modernos na diminuição da carga térmica em ambientes e a consequente redução de demanda de potência. A possível redução no consumo de energia, destinado ao sistema de climatização artificial, após a implantação do sistema de iluminação eficiente demonstrará a influência da carga térmica de iluminação comparada com as demais cargas térmicas do prédio.

Para qualquer auditoria de consumo de energia elétrica faz-se necessária a utilização de um analisador de energia durante, no mínimo uma semana, para caracterizar fielmente o comportamento do consumo e as curvas de carga da instalação interessada. Porém, para este estudo não foi possível a utilização deste equipamento básico em conservação de energia elétrica. Mesmo assim foi obtido acesso a memória de massa desta unidade consumidora, que é constituída pelas informações utilizadas para cobrança e faturamento da energia mensal pela concessionária ao cliente.

Maneiras de alcançar resultados com a eficiência energética são muitas, mas o maior resultado obtido nesta pesquisa foi a compilação de tantos aprendizados dentro deste curso. Servindo de estímulo para a busca de alternativas e respostas as situações que apareceram

durante este projeto. Refletindo todo conhecimento absorvido e habilidades adquiridas em função da estrutura educacional desta Escola de Engenharia fundamentada na produção do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- ABESCO. PROESCO - Financiamento Gerando Eficiência Energética. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. São Paulo, p. 16. 2007.
- AFPEE - PROCEL. Análise Financeira em Projeto de Eficiência Energética, 2004. Disponível em: <http://www.eletrabras.com/pci/GuiaFinanceiro/html/GI_Introduction.asp>. Acesso em: 02 Novembro 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Manual do Programa de Eficiência Energética. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 14 Setembro 2010.
- AKAMATSU, J. I. Eficiência Energética no Brasil. ELETROBRÁS. Guaratinguetá. 2008.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Tarifa média por Classe de Consumo e Região, 2010. Disponível em: <http://rad.aneel.gov.br/ReportServerSAD?%2fSAD_REPORTS%2fConsumidoresConsumoReceitaTarifaMedia-ClasseConsumo&rs:Command=Render>. Acesso em: 01 Outubro 2010.
- ARCOWEB. Tecnologia e Serviço, 2010. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br>>. Acesso em: 25 Outubro 2010.
- ASHRAE. Handbook - Fundamentals. Atlanta/USA: edição SI, 1989.
- BACEN. Banco Central do Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?SPBSELIC>>. Acesso em: 20 Novembro 2010.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. Apoio a Projetos de Eficiência Energética – PROESCO. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/ambiente/proesco.asp>>. Acesso em: Setembro 2010.
- BARBOSA, V. EXAME.com. Portal EXAME, Agosto 2010. Disponível em: <<http://www.exame.com>>. Acesso em: 20 Setembro 2010.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. Sítio contendo informações sobre o comércio de energia elétrica no Brasil. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acesso em: Setembro 2010.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. Análise de investimentos: matemática financeira; engenharia econômica; tomada de decisão; estratégia empresarial. 9ª Edição. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 458 p.
- CASTRO, W. P. D. Projeto de Sistemas de Climatização por Resfriamento Evaporativo. Projeto de Diplomação em Engenharia Mecânica. Brasília, 2003.
- CELESC. Manual Técnico Orientativo - Eficiência Energética e Gestão da Energia Elétrica na Indústria. 50p. Manual do Consumo Inteligente. Florianópolis, SC, 2009.
- CELESC. Revisão Tarifária Periódica. Centrais Elétricas de Santa Catarina, 2010. Disponível em: <<http://portal.celesc.com.br>>. Acesso em: 30 outubro 2010.

COSERN. Manual de orientação de grandes clientes. Grupo Neoenergia. Rio de Janeiro, p. 36. 2006.

COTRIM, A. A. M. B. Instalações Elétricas. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2006. 678 p.

EDIFICA. PROCEL Info, 2010. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/>>. Acesso em: 05 Outubro 2010.

ELETROBRÁS / PROCEL. Prédios Públicos - Alta Tensão Relatório Brasil - Completo. Departamento de Desenvolvimento da Eficiência Energética - Eletrobrás. Rio de Janeiro, p. 131. 2008.

ELO. Sistemas Eletrônicos S.A. ELO 50 - Análise de Energia para Medidores ELO, 2009. Disponível em: <<http://www.elonet.com.br>>. Acesso em: 20 Dezembro 2009. Versão: 1.12.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Nacional de Energia 2030. Seminários Temáticos: Projeções do Consumo Final de Energia. Brasília, DF, 2006.

NOGUEIRA, F. H. F. M. Política de Ação: Eficiência Energética. Secretaria Estadual de Planejamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2007.

GARCIA, A. G. P. Leilão de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro: Synergia, 2008.

GAUDARD, D. D. M. Blog: Carbono Florestal, 2010. Disponível em: <<http://carbonoflorestal.blogspot.com/2010/08/plano-nacional-de-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 17 Setembro 2010.

GELLER, H. S. Leilão de Eficiência Energética no Brasil. Workshop sobre Leilão de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro, 2006.

GHSI, E. Desenvolvimento de uma metodologia para *retrofit* em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 246p. Tese de Mestrado Engenharia Civil. Florianópolis, 1997.

GUARDIA, E. C. Metodologia para o Cálculo da Elasticidade da Tipologia de Carga Frente à Tarifa de Energia Elétrica. Tese de Mestrado em Engenharia de Energia. Itajubá, 2007.

HADDAD, J. Possíveis Avanços Para a Eficiência Energética no Brasil e como a Regulação Pode Contribuir Para Seu Aprimoramento. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Itajubá, p. 22. 2009.

HAGEL, A. D. P. L. A. Análise Computacional da Demanda Energética de Climatização de Edifício. Projeto de Diplomação em Engenharia Mecânica. Brasília, 2005.

ICLEI. Local Governments for Sustainability, 2010. Disponível em: <<http://deep.iclei-europe.org/>>. Acesso em: 10 Outubro 2010.

INFO PROCEL. MME - ELETROBRÁS. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2010. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?ViewID=>

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 31 Outubro 2010.

INMETRO. SISTEMA Internacional de Unidades - SI. 114p. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2010. Disponível em: <<http://www.acendebrasil.com.br>>. Acesso em: 31 Outubro 2010.

ITAIM. Softlux 2.2 - Software de iluminação, 2010. Disponível em: <<http://www.itaimiluminacao.com.br>>.

IWASHITA, J. Luminotécnica aplicada. O Setor Elétrico, São Paulo, p. 34-36, Fevereiro 2008.

JANNUZZI, G. D. M.; SANTOS, H. T. M. Análise dos investimentos no Programa de Eficiência Energética das concessionárias de distribuição de eletricidade. UNICAMP. Campinas, p. 9. 2007.

KONDA, G. Eficiente é conservar. Revista Adiante, São Paulo, p. 46-51, Abril 2006.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW, 1997. 192 p. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html>.

LAPPONI, J. C. Projetos de Investimento: Modelos em Excel. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000. 376 p.

MAGALHÃES, L. C. Orientações Gerais para Conservação de Energia em Prédios Públicos. ELETROBRÁS - PROCEL. Brasília, p. 53. 2001.

MENKES, M. Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade. Tese de Doutorado. Brasília, 2004.

MME: EPE. PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. Ministério de Minas e Energia; colaboração da Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, p. 12volumes. 2007.

NISHIMURA, R. et al. Análise Tarifária e Otimização do Fator de Potência: Estudo de Caso em Indústria de Embalagens Plásticas. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul -UFMS. Campo Grande, p. 5. 2007.

OSRAM. Manual Luminotécnico Prático, 2000. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>>. Acesso em: 12 Agosto 2010.

PENA, S. M. Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração. Eletrobrás/PROCEL. Rio de Janeiro, p. 96. 2002.

PEREIRA, J. C. PERFECTUM - Soluções de Engenharia, 2009. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/>>. Acesso em: 30 Outubro 2010.

POMPERMAYER, M. L. Workshop de Apresentação da Nova Regulamentação de PEE. Brasília, 2009.

POOLE, A. D.; MILANEZ, F. Introdução ao uso da medição e verificação de economias de energia no Brasil. INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética. Rio de Janeiro, p. 47. 1997.

PORTO, L. G. C.; SALGADO, M. H.; MANFRINATO, J. W. S. Análise comparativa da implantação da tarifa horo-sazonal em uma agroindústria. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, Campinas, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100011&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 04 Novembro 2010. Campinas.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Sítio contendo informações sobre a atuação do programa em eficiência energética. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em: Setembro 2010.

PROCEL. Manual de Tarifação da Energia Elétrica. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, p. 44. 2001.

REPORTER ELETROBRÁS. Eletrobrás, 2007. Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br>>. Acesso em: 22 Setembro 2010.

REVISTA SUSTENTABILIDADE, 2010. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br/eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 15 Setembro 2010.

RIBEIRO, D. D. et al. Programa de Eficientização Energética de Prédios Públicos Através de ESCOs. PROCEL; NEXANT. [S.l.], p. 62. 2004.

SANTOS, L. C. S. D. Sistema eletrônico de alto desempenho, com baixa distorção harmônica, para controle de intensidade luminosa de lâmpadas incandescentes de alta potência. Tese de Mestrado. Florianópolis, 2001.

SZKLO, A. S. e GELLER, H. S. Policy Options for Sustainable Energy Development. Vienna: IAEA, 2006.

SOUZA, F. D. C. Redução da Conta de Energia Elétrica em Consumidores de Média Tensão. FNF - Consultoria e Projetos de Engenharia Elétrica LTDA. São Paulo, p. 15. 2008.

STEFFENS, F. A. Eficiência Energética - Um estudo de caso. Projeto de Diplomação para Graduação. Porto Alegre, 2008.

TIPLER, P. Ótica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, p.451. 1995.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Estudo de Viabilidade Econômica de um Proposta de Retrofit em um Edifício Comercial. UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis/SC, p. 7. 2000.