

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANA MARIA BORTOLINI
THAÍS DA SILVA PAGLIARINI**

**AUMENTO DO FATOR DE CARGA DE DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA
ELÉTRICA POR MEIO DO CONTROLE DIRETO DA DEMANDA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2018**

ANA MARIA BORTOLINI
THAÍS DA SILVA PAGLIARINI

**AUMENTO DO FATOR DE CARGA DE DISTRIBUIDORAS DE
ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DO CONTROLE DIRETO DA
DEMANDA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Me. César Augusto Portolann

PATO BRANCO

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras de Energia Elétrica por meio do controle direto da Demanda**, das acadêmicas **ANA MARIA BORTOLINI** e **THAÍS DA SILVA PAGLIARINI** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **202** de 2018.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof. Me. César Augusto Portolann

Prof. Me. Andrei Bordignon

Prof. Me. Dionatan Augusto Guimarães Cieslak

Prof. Dr. Ricardo Vasques de Oliveira

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

Eu, Ana Maria Bortolini, agradeço a minha família, ao meu namorado e aos meus amigos por todo amor, apoio e paciência durante os períodos da graduação e na elaboração desse trabalho. À minha amiga Thaís agradeço por toda a colaboração no desenvolvimento no trabalho.

Eu, Thaís da Silva Pagliarini, agradeço primeiramente a Deus, meus pais e irmãos por conseguir chegar até aqui, por todo apoio, incentivo e compreensão nessa jornada. À minha amiga Ana Maria agradeço também por toda a parceria no desenvolvimento no trabalho. Agradeço também aos meus colegas pela parceria durante toda a graduação.

Agradecemos a universidade e a todos os professores pelos ensinamentos e lições durante todo o percurso para nossa formação acadêmica.

Por fim, agradecemos ao nosso orientador Prof. Me. César Augusto Portolann pelo apoio e orientação durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

EPÍGRAFE

“ É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt)

RESUMO

BORTOLINI, Ana M.; PAGLIARINI, Thaís D.S. Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras de Energia Elétrica por meio do Controle Direto da Demanda. 2018. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

Este trabalho apresenta um estudo sobre ferramentas de gerenciamento pelo lado da demanda aplicadas em programas de eficiência energética. O principal foco do estudo consiste na reunião de técnicas para o controle direto de carga restringindo o uso do chuveiro elétrico nas residências durante o horário de maior demanda noturno do sistema. Explana-se os conceitos da ferramenta Gerenciamento pelo Lado Demanda, suas modalidades de aplicação e seus processos, e outros termos usados ao longo do trabalho. O padrão de consumo de energia elétrica brasileiro foi analisado com um enfoque no padrão do uso final da energia do setor residencial na região Sul do Brasil, de modo a contextualizar a problemática do estudo. Realizou-se um levantamento de técnicas para controle direto de carga a serem aplicadas pelas concessionárias de modo a aumentar o fator de carga de seu sistema. Dessa maneira, visando contribuir para o desenvolvimento de projetos de eficiência energética nas distribuidoras de energia elétrica de pequeno porte e postergar grandes investimentos no setor elétrico. Os resultados apresentam um estudo de caso para uma concessionária de pequeno porte da Região Sul do Brasil, demonstrando a aplicação de algumas das técnicas encontradas e o impacto que causam principalmente para a concessionária.

Palavras-chave: Gerenciamento pelo Lado da Demanda. Fator de Carga. Horário de Ponta Noturno.

ABSTRACT

BORTOLINI, Ana M.; PAGLIARINI, Thaís D.S. Increase in the Load Factor of Electric Power Distributors through Direct Demand Control. 2018. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

This work presents a study of demand side management tools applied in energy efficiency programs. The focus of the study is gathering techniques for the direct load control, restricting the use of the electric shower in residences during the night peak demand of the system. The concepts of the Demand Side Management tool are explained, its application modalities, its processes and other terms used throughout the work. The pattern of Brazilian electric energy consumption was analyzed focusing on the residential sector energy end use pattern in the southern region of Brazil, this stage consists of contextualizing the study problem. A research is made to collect techniques for direct load to be applied by the concessionaires in order to increase the load factor of their system. By doing that, the study aims to contribute to the development of energy efficiency projects in small electric power distributors and to postpone large investments in the electric sector. The results present a case study for a small concessionaire in the Southern Region of Brazil, demonstrating the application of some of the techniques found and the impact they cause mainly to the concessionaire.

Keywords: Demand Side Management. Load Factor. Night Time Peak.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratégias do GLD para modelagem da Curva de Carga.....	23
Figura 2 - Curva de Carga Média para o consumidor da Região Sul.....	36
Figura 3 - Tendência do consumo dos chuveiros elétricos por domicílio para 2030 (MWh/mês).....	39
Figura 4 - Curva de Carga Média do Chuveiro Elétrico para o Consumidor Residencial da Região Sul.....	40
Figura 5 - Curva de Carga Média das Geladeiras para o Consumidor Residencial da Região Sul.....	42
Figura 6 - Curva de Carga Média do Ar-Condicionado para o Consumidor Residencial da Região Sul.....	46
Figura 7 - Projeção do Consumo do consumo de lâmpadas no cenário Base e MEPS entre os anos 2008-2030.	48
Figura 8 - Curva de Carga Média das Lâmpadas para o Consumidor Residencial da Região Sul.....	49
Figura 9 - Configuração do relé horário.....	52
Figura 10 - Retificador Meia Onda para Chuveiro Elétrico.	53
Figura 11 - Retificador Controlado de Meia Onda para Chuveiro Elétrico.....	55
Figura 12 - Retificador Meia Onda com Controlador de Tensão para Chuveiro Elétrico.	57
Figura 13 - Potência média na carga em função do ângulo de disparo.	58
Figura 14 - Diagrama Elétrico de um Chuveiro Comum.....	60
Figura 15 - Comparação entre os valores da tarifas branca e convencional.....	65
Figura 16 - Curva de carga horária média da concessionária.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de Carga Típica para Cargas com Baixo Fator de Carga.	30
Gráfico 2 - Consumo de Energia Elétrica por Classe.	34
Gráfico 3 - Consumo Total de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil no Ano de 2017.	35
Gráfico 4 - Proporção de domicílios particulares permanentes com água encanada, por fonte de aquecimento de água (%).	37
Gráfico 5 - Vendas de Equipamentos de Ar Condicionado (tipo janela e <i>Split</i>).....	44
Gráfico 6 - Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial da Região Sul.....	45
Gráfico 7 – Consumidores atendidos pela concessionária em 2010.....	68
Gráfico 8 - Relação de consumo por tipo de consumidor.....	69
Gráfico 9 - Curva de Carga Diária da Concessionária com a Redução da Demanda na Ponta.....	71
Gráfico 10 - Curva de Carga da Redução da Demanda na Ponta da Concessionária.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Forma de aquecimento de água no setor residencial.....	38
Tabela 2 – Resultados da Redução de Demanda na Ponta para a Concessionária.	70
Tabela 3 – Resultados do Potencial de Redução e Fatores de Carga para a Concessionária.....	72
Tabela 4 - Dados de Demanda Diária da Concessionária, e após a implantação das técnicas escolhidas.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASBC	Aquecedor Solar de Baixo Custo
CA	Corrente Alternada
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso Dos Derivados Do Petróleo e do Gás Natural
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
DASOL	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
ENEL	<i>Ente Nazionale Per L'energia Elettrica</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de Carga
FPC	Florida Power Corporation
GLD	Gerenciamento pelo Lado Da Demanda
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MEPS	Padrões Mínimos de Desempenho Energético
MME	Ministério de Minas e Energia
NORMASOL	Programa de Revisão e Elaboração de Normas de Aquecimento Solar no Brasil
OLADE	<i>Organizacion Latinoamericana Para El Desarrollo</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
PPH	Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos De Uso

PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QUALISOL	Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar
RDP	Redução da Demanda na Ponta
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 METODOLOGIA.....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA.....	21
2.1.1 Métodos do GLD	21
2.1.1.1 Método Direto.....	22
2.1.1.2 Método Indireto	22
2.1.2 Estratégias do GLD	23
2.1.3 Benefícios do GLD	25
2.1.4 Barreiras a Implementação de Técnicas do GLD.....	26
2.1.5 Estado da Arte.....	26
2.2 FATOR DE CARGA	29
2.3 FERRAMENTAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL	31
2.3.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	31
2.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.....	31
2.3.3 Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000.....	32
3 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	33
3.1 ANÁLISE DO PADRÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO E REGIÃO SUL.....	33
3.1.1 Padrão de Consumo de Chuveiros Elétricos.....	36

3.1.2 Padrão de Consumo Refrigeradores	41
3.1.3 Padrão de Consumo de Condicionadores de Ambiente	42
3.1.4 Padrão de Consumo das Lâmpadas	46
4 TÉCNICAS PARA CONTROLE DE CARGA DO CHUVEIRO ELÉTRICO.....	50
4.1 TÉCNICAS DE CONTROLE DIRETO DE CARGA	50
4.1.1 Temporizadores	50
4.1.2 Relé Horário	51
4.1.3 Retificador de Meia Onda a Diodo	52
4.1.4 Retificador Meia Onda a Diodo e Relé Horário	54
4.1.5 Retificador Controlado de Meia Onda	54
4.1.6 Retificador meia onda controlado com SCR e relé horário.....	56
4.1.7 Controlador de Tensão de Corrente Alternada.....	56
4.1.8 Controlador de Tensão de Corrente Alternada e Relé Horário.....	59
4.1.9 Chuveiro de 220 V em rede de 127 V	59
4.1.10 Seccionamento do terminal intermediário da resistência do chuveiro	60
4.1.11 Disjuntor Subdimensionado.....	61
4.1.12 Disjuntor Subdimensionado e Relé Horário.....	62
4.1.13 Aquecedor Solar.....	62
4.2 TÉCNICAS DE CONTROLE INDIRETO DE CARGA.....	64
4.2.1 Modalidade Tarifária.....	64
4.2.2 Propaganda e Marketing	65
4.2.3 Informação e Educação.....	66
5 RESULTADOS.....	68
5.1 ESTUDO DE CASO.....	68
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
6 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS.....	76

APÊNDICE A.....	83
-----------------	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O crescente aumento no consumo de energia elétrica aliado às preocupações a nível ambiental tem gerado uma manifestação por mudanças de hábitos para um uso racional e eficiente de energia. A importância dessa discussão decorre da necessidade de um fornecimento de energia elétrica alinhado ao consumo, levando em consideração a falta de investimentos no setor, a escassez de recursos e o alto nível de desperdício (PROCEL, 2009).

A decorrência desses fatos é uma mudança no setor de elétrico, trazendo desafios ao planejamento energético do sistema. O planejamento de uma distribuidora de energia elétrica é um estudo que parte da análise dos dados em relação aos consumidores, onde realiza-se uma pesquisa sobre a demanda, a curva de carga e fatores de carga. Dessa forma o fornecimento de energia pode ser realizado com confiabilidade e uma previsão do comportamento do sistema pode ser delineada.

Uma das orientações acerca de um uso mais eficiente e racional de energia é o Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD). Essa ferramenta apresenta como característica o controle da carga de modo direto ou indireto, com o objetivo de otimizar o uso da energia segundo a necessidade do sistema. Refere-se ao método que tem por principal finalidade o controle da carga levando em consideração a eficiência do sistema através de estudos realizados a partir dos dados do consumidor (COSTA; COSTA; LEITE, [1990-2000]).

Para Teive e Velvert (2002), a aplicação do GLD apresenta-se como técnica eficaz para a postergação de investimentos, redução do desperdício de energia e atua diretamente na melhoria da eficiência do sistema. No que se refere ao consumidor final, o uso racional e eficiente de energia elétrica traduz-se na redução da fatura de energia, melhoria no desempenho de equipamentos da instalação e na promoção de práticas ligadas à preservação ambiental, ponto relevante na discussão atual (ALVAREZ, 1998).

Em relação às distribuidoras de energia elétrica, o uso eficiente de energia é refletido no aumento do fator de carga e conseqüentemente na postergação de

investimentos para ampliação do parque de geração de energia elétrica instalado. Estas mudanças, prorrogariam o investimento em reforços na rede elétrica para atender a demanda excedente evitando assim um novo contrato de demanda. O fator de carga é um indicador que traduz como a energia elétrica fornecida está sendo utilizada, altos índices representam uma maior regularidade no uso da energia elétrica do sistema e índices baixos representam uma centralização de consumo em um determinado período de tempo (PANESI, 2006).

Com base em uma análise inicial da curva de carga do consumidor residencial percebe-se picos de consumo em determinadas faixas de tempo, representando picos de demanda para o sistema e refletindo em um fator de carga baixo. A distribuidora deve estar preparada para atender a demanda excessiva neste período, ou seja, deve investir na ampliação da capacidade instalada para o atendimento naquele horário.

Grande parcela da demanda excessiva no horário de pico se deve ao uso do chuveiro elétrico, acentuadamente no horário de pico noturno, horário em que as pessoas retornam para casa e utilizam seus chuveiros. Esse equipamento que, devido as altas potências e baixos custos de aquisição, configura-se em um alto custo de utilização. Para o consumidor isso resulta no aumento da fatura de energia, já para a concessionária se traduz nos picos de demanda e no superdimensionamento do sistema (TOMÉ, 2014).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), define que o horário de ponta do sistema deve ser proposto por cada distribuidora de energia elétrica, compreendendo três horas diárias consecutivas de pico de demanda de acordo com a curva de carga do consumo de energia, o qual não deve ser considerado em finais de semanas e feriados nacionais. O horário intermediário trata-se de uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta definido, e o horário fora de ponta é compreendido pelas horas restantes do dia (ANEEL, 2016b).

O horário de pico do sistema seria faixa de horário em que o consumo de energia, empregando todos os setores: comerciais, residenciais e industriais, tem seu maior pico. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), analisando-se a curva de carga diária do Sistema Interligado Nacional, no inverno o horário de pico se mantém entre às 17h e 21h coincidindo com o horário de ponta típico. Já para o verão esse pico desloca-se para a tarde mantendo o pico noturno porém com uma magnitude menor, isso se deve principalmente pela contribuição dos condicionadores

de ambiente, que devido a um aumento de temperaturas induz um maior consumo de energia no começo da tarde (EPE, 2015).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), o chuveiro elétrico representava em 2008 cerca de 18% do pico de demanda do sistema e 6% do consumo total de eletricidade. Apesar do alto impacto desse equipamento no horário de ponta, a projeção de demanda de energia relata um crescimento no consumo de energia para o chuveiro elétrico e portanto, continuando a representar uma boa parcela no segmento de aquecimento de água (MME, 2011).

Através da análise do padrão de consumo de energia se contextualiza a curva de carga residencial, servindo também como guia para a escolha da melhor abordagem e implementação de técnicas de conservação de energia. Neste contexto, o estudo aqui descrito demonstra, através de um panorama da condição atual das curvas de carga e padrões de consumo do setor residencial, como a aplicação de técnicas de controle direto e indireto da carga podem aprimorar o uso de energia elétrica, postergar grandes investimentos no setor elétrico, promover um uso racional de energia e minimizar os impactos ambientais.

O enfoque do estudo será a restrição do uso do chuveiro elétrico nas residências durante o horário de ponta noturno do sistema, reunindo possíveis técnicas a serem aplicadas pela concessionária de modo a aumentar seu fator de carga. Essas medidas técnicas são compreendidas por dispositivos elétricos e eletrônicos (disjuntores subdimensionados, relés, temporizadores, diodos, entre outros) capazes de interromper o uso do chuveiro ou diminuir sua potência durante essa faixa de horário.

Em vista disso, o estudo sobre a implantação de novas técnicas para o aumento do fator de carga restringindo o uso de chuveiros elétricos, visa contribuir para o desenvolvimento de projetos de eficiência energética nas distribuidoras de energia elétrica e postergar grandes investimentos no setor elétrico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral propor soluções para o aumento do fator de carga de distribuidoras de energia elétrica a partir da visão do gerenciamento pelo lado da demanda com ênfase no controle direto da carga, restringindo o uso de chuveiros elétricos nas residências no horário de ponta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar os dados relativos ao uso final de energia elétrica residencial da região Sul;
- Propor medidas às distribuidoras de energia elétrica dentro da visão de conservação de energia visando aumentar o seu fator de carga ao restringir o uso de chuveiros elétricos em horários estratégicos;
- Apresentar medidas de controle direto de carga através de dispositivos elétricos e eletrônicos, e abordando também algumas medidas indiretas;
- Verificar a aplicabilidade das medidas propostas: vantagens e desvantagens.

1.3 METODOLOGIA

O trabalho fundamenta-se primeiramente na revisão bibliográfica de artigos, monografias, livros e documentos disponibilizados nos portais de periódicos acerca de uma formação teórica sobre os assuntos abordados. O principal foco desta revisão está na exploração da ferramenta Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) e mostrar as principais aplicações feitas em âmbito mundial.

A etapa inicial do estudo requer a análise do consumo de energia elétrica no Brasil, ressaltando o padrão de consumo e hábitos de uso final de energia no setor residencial da região Sul. Os dados principais para a elaboração do trabalho serão os de consumo de energia elétrica, nível de participação do consumo residencial e curvas de carga médias de eletrodomésticos para o consumidor da região, entre outros.

A etapa seguinte consiste na determinação das técnicas, a partir de revisão bibliográfica, a serem implantadas pelas distribuidoras de energia elétrica a fim de restringir o uso do chuveiro elétrico em horários de ponta. Nesta etapa, são evidenciadas as vantagens e desvantagens de cada medida, levando em consideração o nível de aceitação do consumidor, o grau de severidade de sua aplicação e quantificando a redução da potência nominal do chuveiro.

Estas técnicas tratam de medidas para o controle direto da carga através de dispositivos elétricos e eletrônicos para a limitação do uso do chuveiro elétrico. Serão discutidas quinze técnicas que visam diminuir a potência demandada pelo chuveiro elétrico segundo Portolann et. al (2010), sendo elas: relé horário, operação 220 V em rede 127 V, seccionamento do terminal intermediário da resistência, temporizador, aquecedor solar, disjuntor subdimensionado, retificador meia onda a diodo e a Diodo Controlado de Silício (SCR), controlador de tensão de corrente alternada e a combinação destes com relé horário.

Além das medidas de controle direto citadas acima realiza-se uma pesquisa apontando alguns métodos de controle de carga indiretos como: tarifações, campanhas de sensibilização do consumidor e publicidade incentivadora para o consumo eficiente.

Enfim, algumas técnicas são selecionadas para análise de um estudo de caso em uma concessionária de pequeno porte da região Sul. Esse estudo consiste em analisar a curva de carga diária típica da empresa, números de consumidores, participação de consumo e por fim, verificar a redução da demanda de energia elétrica no horário de ponta noturno, determinando a contribuição da redução para o aumento do fator de carga da distribuidora ao atuar diretamente no consumidor final.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o assunto estudado, descreve os objetivos gerais e específicos e por fim, a metodologia utilizada para a elaboração das diferentes etapas do trabalho.

O Capítulo 2 se baseou na elaboração do referencial teórico como fundamentação dos conceitos, peculiaridades e estado da arte da ferramenta Gerenciamento pelo Lado da Demanda; definição de Fator de Carga; e reunião de alguns programas de promoção da eficiência energética no Brasil.

O Capítulo 3 apresenta uma análise sobre o consumo e padrão do uso de energia elétrica residencial na região Sul do Brasil. Para tal, realizou-se uma investigação detalhada para quatro eletrodomésticos: chuveiro elétrico, refrigeradores, lâmpadas e condicionadores de ambiente.

No Capítulo 4 são apresentadas técnicas para a redução da contribuição do chuveiro elétrico no pico de demanda noturno residencial, sendo essas técnicas divididas entre controle direto e indireto da carga.

O Capítulo 5 apresenta os resultados do trabalho, retratando um estudo de caso para a aplicação das técnicas discutidas no Capítulo 4 dentro de uma concessionária da região Sul a partir dos dados dos consumidores, consumo e curva de carga para um dia típico. Sendo abordada também uma análise dos resultados obtidos.

No Capítulo 6 realiza-se uma conclusão para o trabalho, recordando aspectos iniciais do trabalho, discutindo sobre dificuldades encontradas e propondo ideias para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Segundo Gellings (1985), as concessionárias visando aumentar a eficiência do sistema e controlar os gastos passaram a controlar direta e indiretamente a carga, incluindo o consumidor como uma peça do planejamento estratégico e alterando-se para uma visão integrada entre demanda e fornecimento.

O Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) para Gellings (1985) “trata-se do planejamento, implementação e monitoração das atividades das distribuidoras designadas a influenciar o consumidor a utilizar a eletricidade de forma a produzir as mudanças desejadas na curva de carga da distribuidora, ou seja, mudanças nos níveis temporais e de magnitude da carga”. Já para Braga (2014), atividades empregadas pelas concessionárias com o objetivo de alterar o padrão de consumo e conseqüentemente solucionar os problemas operacionais recorrentes podem ser consideradas ferramentas do GLD.

Para Majid et al. (2006), o GLD é uma ferramenta eficaz para a contenção e redução dos custos de energia de uma concessionária, além de ser uma alternativa para reduzir o impacto dos picos de demanda residenciais frente ao consumo nacional de energia. É um método para a redução dos custos de operação, aumentar a receita e permanecer competitivo no mercado.

2.1.1 Métodos do GLD

O GLD está dividido em dois métodos de aplicação: o método direto, onde a própria concessionária de acordo com cada consumidor irá desligar ou reduzir cargas no sistema, de acordo com especificações acordadas previamente, e o método indireto, onde o consumidor em resposta as alterações nos preços da energia, altera o seu padrão de consumo (BRAGA, 2014 apud GARCIA, 2002).

2.1.1.1 Método Direto

Neste caso, haverá um contrato entre a concessionária e o consumidor final, estabelecendo o controle de cargas do usuário, onde o usuário receberá estímulos financeiros ao aderir ao programa. A concessionária é quem irá estabelecer o desligamento ou não de determinado equipamento, de acordo com horários estratégicos de funcionamento, de modo a melhorar a curva de carga do seu sistema (CORTEZ, 2017).

Segundo Cunha (2016), “o GLD direto permite o controle direto da carga, pois possibilita ligar e desligar equipamentos específicos, fora e durante os períodos de pico de demanda e eventos críticos. As aplicações mais comuns são em equipamentos de climatização e aparelhos de aquecimento (em geral, de água), podendo ser pausados e religados.”

Ou seja, o método compreende técnicas de controle direto de carga através de dispositivos de comando responsáveis por controlar a demanda de energia elétrica em horários estratégicos, como os horários de ponta do sistema ou em situações críticas. Esses dispositivos são responsáveis por diminuir a carga ou desconectá-la do sistema naquela determinada faixa de horário.

2.1.1.2 Método Indireto

Para Cunha (2016), no método indireto a concessionária não irá controlar diretamente a carga, o responsável por modificar o padrão de consumo da curva de carga do sistema é o próprio consumidor final a partir de mudanças nos hábitos de consumo da energia elétrica.

Neste método o próprio consumidor modifica o padrão de consumo nos horários de pico do sistema, com o incentivo de obter uma redução em sua fatura de energia mensal. O que pode ser feito principalmente a partir da implantação de tarifas diferenciadas (CORTEZ, 2017).

Ações deste método compreendem tarifas diferenciadas, programas de incentivo ao uso racional de energia, propagandas de marketing, entre outros. Programas que sensibilizem o usuário final ao uso racional de energia, mostrando-lhes os benefícios ambientais e econômicos possíveis de se alcançar através desta

prática. Podemos citar como exemplo, no Brasil, o uso da Tarifa Branca como aplicação deste método, que será explicada melhor no decorrer do trabalho.

2.1.2 Estratégias do GLD

Como em Gellings (1985), é mais conveniente assimilar o GLD em termos de remodelagem da curva de carga. Dentro desse plano, seis categorias podem ser propostas: redução de pico, preenchimento de vales, deslocamentos de carga, conservação estratégica, crescimento estratégico da carga e curva de carga flexível. Esse conjunto de técnicas é mostrado na Figura 1.

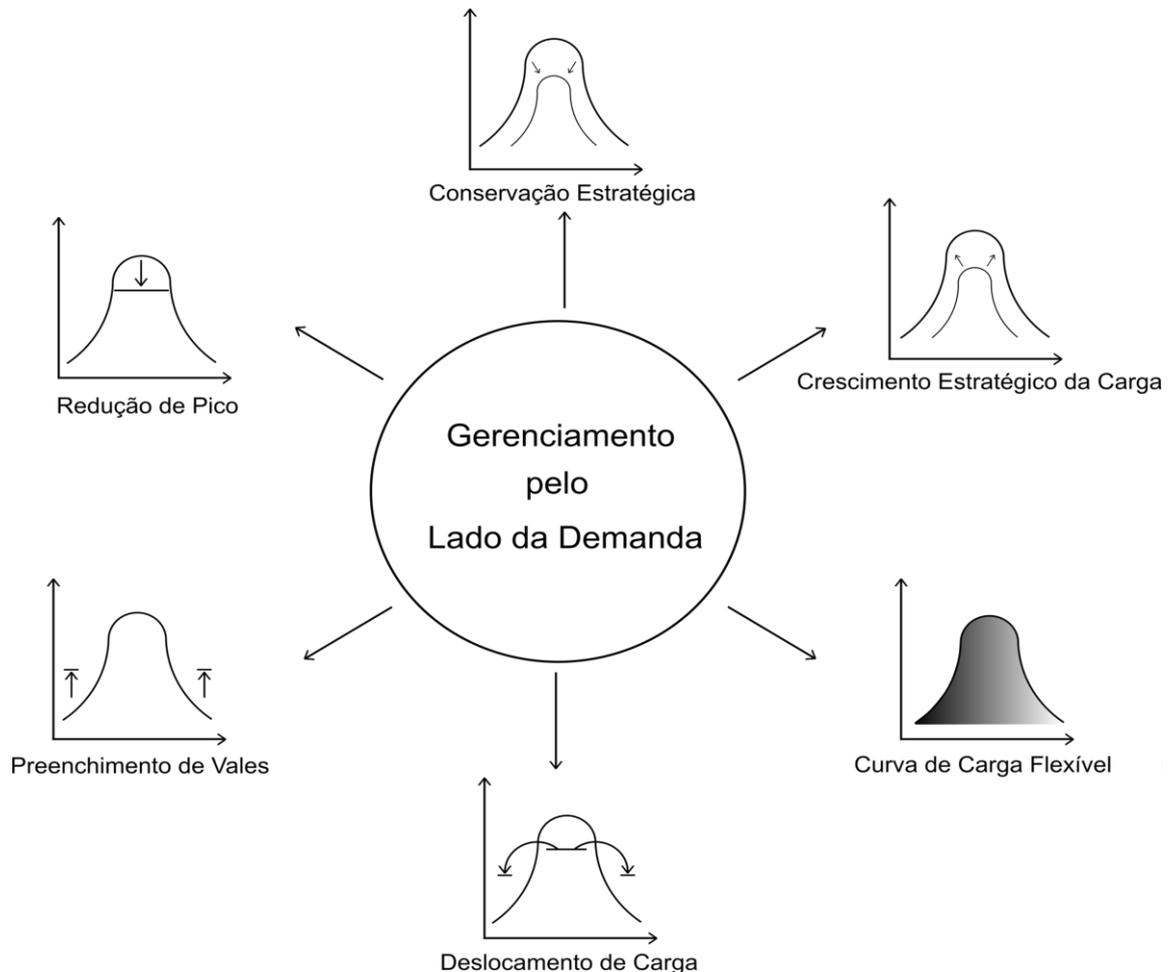


Figura 1- Estratégias do GLD para modelagem da Curva de Carga.
Fonte: Adaptado de Gellings (1985).

A estratégia de Redução de Pico (*Peak Clipping*) corresponde a uma prática tradicional dentro do gerenciamento de carga e pode ser definida como um

corte no pico de demanda do sistema, realizado através do controle direto de carga. Por meio do controle direto a concessionária pode administrar o uso final de energia elétrica, ou seja, tem autonomia para desconectar os equipamentos dos consumidores. Representa uma técnica eficaz também para a redução do custo de operação e diminuir a dependência em combustíveis por meio do despacho econômico (GELLINGS, 1985).

O Preenchimento de Vales (*Valley Filling*) corresponde ao incentivo do uso de energia elétrica no horários fora de pico. O consumo de energia elétrica nesse horário pode se tornar atrativa por meio de incentivos financeiros, diminuindo o custo médio para os consumidores. Essa técnica torna-se particularmente interessante nos períodos do ano em que o custo marginal supera o custo médio (GELLINGS, 1985).

Para Gellings (1985), o Deslocamento da Carga (*Load Shifting*) pode ser entendido como o remanejamento da carga do horário de pico do sistema para o horário fora de pico. Segundo Campos (2004) uma aplicação vantajosa dessa técnica seria o deslocamento do uso do chuveiro elétrico, devido a sua representatividade no pico de demanda do sistema nacional, para outros horários do dia. De acordo Braga (2014), a aplicação dessa técnica pode ser feita através de incentivos financeiros, elevando as tarifas de energia no horário de pico e as reduzindo nos horários complementares.

A técnica Conservação Estratégica (*Load Shifting*) pode ser definida como a alteração do padrão da curva de carga em resposta a programas estimulados pela concessionária direcionados ao uso final de energia elétrica. Essa mudança na curva de carga reflete uma redução do consumo de energia combinado a alterações no padrão de uso (GELLINGS, 1985). Segundo Campos (2004), a implementação da técnica pode ser feita através do incentivo à troca dos aparelhos da instalação para modelos mais eficientes.

A estratégia do Crescimento Estratégico da Carga (*Strategic Load Growth*) segundo Cunha (2016) é o “crescimento da carga que incentiva a substituição de equipamentos ineficientes baseados em combustíveis fósseis por equipamentos de tecnologias baseadas em eletricidade”. Para Gellings (1985), essa estratégia representa um aumento no consumo de energia, em reação aos incentivos da concessionária, atuando de forma similar a estratégia de Preenchimento de Vales abordada nesta seção.

Para Gellings (1985) a estratégia Curva de Carga Flexível (*Flexible Load Shape*) se relaciona com a confiabilidade do sistema dentro do planejamento

energético da distribuidora. Como em Camargo (1996), a definição desse conceito “está associado a confiabilidade do serviço e é conseguido oferecendo aos consumidores a escolha de vários níveis diferentes de qualidade em troca de incentivos financeiros”. Como exemplos para aplicação dessa estratégia estão as variações de cargas interruptíveis, gerenciamento integrado de sistemas de energia ou aparelhos individuais de controle que ofereçam restrições de uso.

2.1.3 Benefícios do GLD

Segundo Braga (2014), “programas de GLD trazem benefícios para a sociedade em geral: as concessionárias de energia elétrica têm mais uma alternativa no planejamento da matriz energética, os consumidores têm suas despesas com energia reduzidas e a sociedade usufrui com a melhor utilização dos recursos disponíveis, acarretando em menos agressão ao meio ambiente.”

O gerenciamento pelo lado da demanda tem como principal função o ajuste do equilíbrio entre demanda e suprimento de energia elétrica, através do uso racional de energia pelo consumidor final. Além, também de reduzir os impactos ambientais causados pela geração de energia por fontes de energia não renováveis, as quais são responsáveis por assegurar a demanda de energia nos horários de pico (CORTEZ, 2017).

Para Chia e Correia (2011), programas ligados a GLD buscam:

“Reduzir picos de consumo e a demanda total de energia; melhorar a confiabilidade da rede; aumentar a eficiência energética melhorando o balanceamento da rede; gerenciar os gastos com energia; proporcionar um maior controle dos equipamentos; favorecer a geração distribuída; aumentar a utilização e o fator de carga das unidades geradoras; e proporcionar sistemas que estimulam o deslocamento de carga quando o sistema estiver operando próximo à capacidade de geração.”

As aplicações das estratégias do GLD promovem o uso apropriado dos recursos energéticos trazendo o aumento da eficácia do sistema, produzindo postergação de investimentos em ampliações dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, obtendo como um retorno a diminuição dos custos e como consequência redução na conta de energia paga pelo consumidor. Além de que, contribui para o aumento da qualidade no fornecimento de energia (VILAR, 2016).

2.1.4 Barreiras a Implementação de Técnicas do GLD

Uma das principais barreiras apresenta-se por meio da própria concessionária de energia, que não estando preparada para a implantação de tais programas enfrenta dificuldades quanto à falta de profissionais qualificados, uma área de dedicação a esses projetos e a complexidade de implantação. Contudo, também enfrentam a questão de redução de consumo, avaliando-se que não traz um retorno de investimentos imediato e também o nível de aceitação dos consumidores que não é satisfatória (RAAD, *et al*, 2001).

Para Braga (2014), as principais barreiras para se implantar um programa de GLD no setor residencial são:

- Falta de conhecimento dos consumidores – não estão habilitados a avaliar as vantagens das novas tecnologias, e também há pouca informação sobre os benefícios que podem trazer;
- Nível de aceitação dos consumidores – para se implantar um programa de GLD o consumidor é o principal responsável, atuando na concessão para as devidas mudanças ou mudando suas estratégias de consumo, ou seja, é de sua responsabilidade a aplicação de medidas de modo direto ou indireto;
- Financeira – a troca de equipamentos por equipamentos mais eficientes (mais caros), pode não estar de acordo com o orçamento familiar;
- Governo – falta de incentivo, principalmente financeiro, por parte do governo para de implantar medidas de GLD.

O modo como o consumidor reage é inteiramente dependente do plano de marketing direcionados a implantação dos programas de GLD, dos incentivos, grau de severidade do programa e dos serviços oferecidos pela concessionária de energia elétrica (CAMARGO, 1996).

2.1.5 Estado da Arte

Em Teive e Vilvert (2002), um sistema para o controle direto da carga é discutido. Esse sistema gerencia a carga de acordo com objetivos diários e mensais a partir de dados fornecidos por sensores. Todas as informações coletadas são

comparadas a valores de referência (baseados em valores padrão, como a luminescência ou valores alvo, como temperatura). O processo ainda apresenta circuitos de sinalização, que são responsáveis por informar ao consumidor se o seu consumo se aproxima do valor de máximo para o dia/mês, e nesse caso, o sistema é capaz de desligar aparelhos de acordo com uma lista de prioridades. Ainda, o processo conta com medidores de energia elétrica e sensores instalados em cargas específicas como lâmpadas, chuveiros e condicionadores de ambiente buscando a eficiência na utilização desses dispositivos.

Alguns dos principais sistemas utilizados no controle direto da carga em sistemas de GLD são expostos em Campos (2004 apud. GELLINGS; CHAMBERLIN 1993). Dentre eles se destacam os interruptores horários, controladores cíclicos, termostatos e controladores de demanda. Os interruptores horários permitem o desligamento dos equipamentos em períodos de tempo pré-estabelecidos entre consumidor e concessionária; o controlador cíclico, temporiza o período em que o aparelho fica ligado/desligado, como por exemplo dentro de uma hora, programa-se que o ar condicionado opere por 15 minutos e fique desligado por 45 minutos; o termostato se utiliza de uma programação de liga/desliga conforme dada temperatura limite, por exemplo, estabelece-se uma temperatura limite maior para o ar condicionado no verão visando uma diminuição do consumo desse aparelho; já o limitador de demanda monitora e limita a demanda total do consumidor, podendo trabalhar como temporizador evitando demandas coincidentes ou como limitador garantindo a operação dos equipamentos dentro de valores de potência máxima.

Uma estratégia para o controle indireto da carga segundo Siano (2013) é a tarifação dinâmica, na qual os consumidores são influenciados a remanejarem o consumo de energia elétrica de sua residência durante horário de pico em resposta à uma mudança de preço. Dentre as alternativas encontram-se: Preço por Tempo de Uso (*Time of Use Pricing*), Preço por Pico Crítico (*Critical-Peak Pricing*), e Preço em Tempo Real (*Real-Time Pricing*). O Preço por Tempo de Uso é a monetização do consumo de energia elétrica a partir de preços pré-estabelecidos que diferem pelo horário do dia (na ponta, fora de ponta e intermediário); o Preço por Pico Crítico é caracterizado por um aumento da tarifa de energia elétrica por um número limite de horas que é disparado pela concessionária em situações críticas do sistema elétrico; e o Preço em Tempo Real apresenta tarifações que variam continuamente durante o

dia e assim, cada consumidor pode deslocar o consumo de energia elétrica para os horários de menor custo.

Segundo The Results Center (2018) a *Florida Power Corporation* (FPC), concessionária dos EUA, idealizou um plano de ações em gerenciamento de cargas residenciais nas quais os consumidores que possuam sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado, bombas de piscina ou aquecedores elétricos de água permitiam a interrupção do fornecimento de energia para esses equipamentos em troca de créditos na fatura de energia elétrica. O controle da carga é feito por meio da instalação de um sistema de rádio-controle nos equipamentos da residência e durante os períodos de maior demanda, a concessionária desliga os aparelhos durante um período de tempo especificado. Em 1982 se iniciou o projeto e até o ano de 1991 a energia reduzida no pico de verão foi de 381 MW e no de inverno foi de 712 MW.

No Brasil, encontram-se alguns projetos, como o Cidade Inteligente Búzios em que o consumidor é incentivado a deslocar o consumo de energia elétrica para fora do horário de ponta. Primeiramente a concessionária analisa o perfil de consumo de modo a traçar uma média mensal e para isso, os medidores convencionais são trocados por medidores eletrônicos e firma-se um termo de adesão com o consumidor. Assim, conforme o consumidor deslocar seu consumo do horário de ponta para outros horários do dia ele acumula pontos que podem ser trocados por prêmios (ENEL, 2018).

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) possui um procedimento referente ao GLD denominada Modulação Dinâmica, atuando na classe industrial da transmissão de energia elétrica. “A Modulação Dinâmica é a alocação do horário de ponta de determinados consumidores de transmissão, acompanhando a variação sazonal do horário de ocorrência da ponta do Sistema Cemig”. Assim, foi possível reduzir a demanda máxima da semana para os sábados e equilibrar o pico de demanda da concessionária. Entre os benefícios do sistema estão: maior confiabilidade do sistema, redução da necessidade de corte de carga em situações críticas e aumento da qualidade do serviço prestado (CEMIG, 2018).

2.2 FATOR DE CARGA

Segundo a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, o fator de carga trata-se da relação entre a demanda média e a demanda máxima de um dado sistema em um determinado intervalo de tempo (ANEEL, 2010).

$$FC = \frac{D_{m\acute{e}dia}}{D_{m\acute{a}xima}} \quad (1)$$

O fator carga de um sistema de energia elétrica trata-se de um indicador responsável por dar à concessionária uma perspectiva de como a energia elétrica fornecida ao consumidor está sendo utilizada. Este indicador é composto pela relação entre a demanda média e a máxima do sistema em um determinado período de tempo, variando entre valores de 0 a 1. Quanto mais próximo da unidade indica que maior é a regularidade do sistema analisado e um índice baixo para esse indicador representa uma centralização do consumo de energia elétrica em um determinado período de tempo (PANESI, 2006).

Ao se manter um índice elevado para o fator de carga pode-se alcançar algumas vantagens no sistema: otimização do investimento da instalação, aumento da vida útil da instalação e dos equipamentos, redução do valor da demanda nos horários de pico do sistema (FILHO, 2001).

O fator de carga também pode ser representado pela relação entre o consumo de energia elétrica em kWh e a faixa de tempo (horas) ao qual ele corresponde multiplicado pela demanda máxima (kW) do sistema (FILHO, 2001).

$$FC = \frac{\text{Consumo}}{\Delta t \cdot D_{m\acute{a}xima}} \quad (2)$$

O aumento do fator de carga ao reduzir-se a demanda de energia elétrica no horário de ponta pode trazer muitas vantagens para o sistema de energia ao qual houve a redução. O gráfico abaixo mostra um exemplo de curva de carga onde há uma concentração da demanda de energia em um pequena faixa de horário.

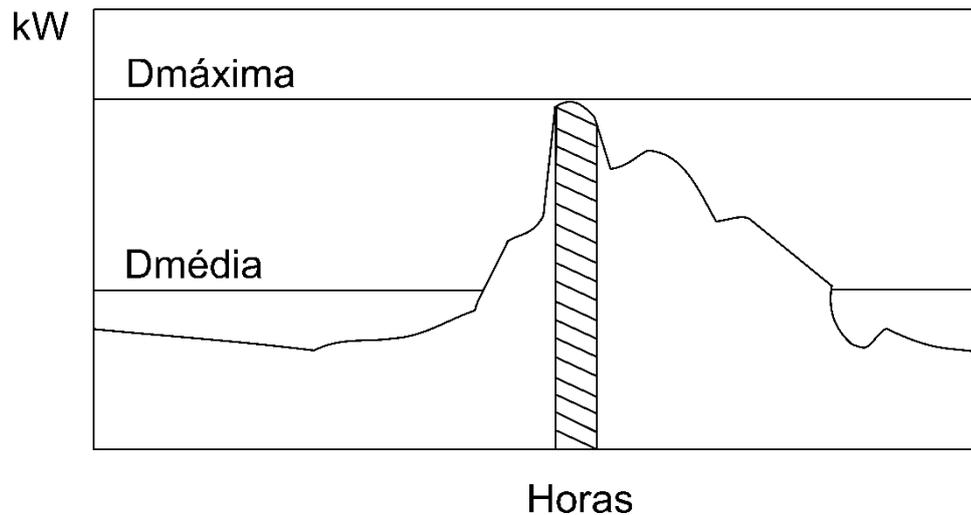


Gráfico 1 – Curva de Carga Típica para Cargas com Baixo Fator de Carga.
Fonte: Adaptado Pereira (1998).

O Gráfico 1, mostra uma curva típica para carga com baixo fator de carga, podendo-se calcular o impacto a partir da equação 2. Quanto maior for a redistribuição das cargas ao longo dos vales da curva de carga, melhor será o índice do fator de carga.

Segundo o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (2008), a Redução da Demanda na Ponta (RDP) pelo uso restrito do chuveiro elétrico para uma amostra de consumidores maior pode ser calculada da seguinte forma:

$$RDP = NR.NC.(PC-PN).FD.10^{-3} \text{ (kW)} \quad (4)$$

Onde:

NR: Número de residências atendidas;

NC: Número médio de chuveiros por residência;

PC: Potência máxima típica dos chuveiros utilizados (W);

PN: Potência utilizada pelo novo sistema de redução do uso do chuveiro no horário de ponta;

FD: Fator de Diversidade de Demanda do chuveiro na ponta (pode ser considerado $FD=0,10$, se não encontrar o valor de diversidade para a carga analisada);

10^{-3} : Para se obter a redução da demanda na ponta em kW.

2.3 FERRAMENTAS DE INCENTIVO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

2.3.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), surgiu da expansão de um projeto implantado pelo Inmetro em 1984 que visava informar os consumidores sobre a eficiência de cada equipamento (INMETRO, 2018). O programa, atualmente, é coordenado e regulamentado pelo Inmetro e executado pela Eletrobrás, através do Procel em conjunto com a Petrobrás através do Conpet.

O principal objetivo do PBE é levar ao consumidor conhecimento sobre o desempenho e eficiência dos equipamentos que está adquirindo e induzir a competitividade no setor industrial por meio do processo de melhorias na eficiência. Os equipamentos recebem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia responsável por classificar sua eficiência, sendo classificados de A até G, ou seja, do mais eficiente ao menos eficiente respectivamente (INMETRO, 2018).

Segundo Procel (2015): “O PBE incentiva a inovação e a evolução tecnológica dos produtos e funciona como instrumento para estimular a fabricação de aparelhos e equipamentos mais eficientes, alinhando-se com a Lei de Eficiência Energética (10.295/2001).”

2.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, fundado em 1985, dirigido pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobrás, designa-se no estímulo de um uso eficiente da energia elétrica e para suprimir o seu desperdício. O Procel, além de promover a eficiência de bens e serviços, atua na postergação de investimentos no setor elétrico e na minimização dos impactos ambientais (BRASIL, 2018).

Segundo EPE (2017), os resultados alcançados pelo Procel em 2016, a economia de energia elétrica alcançada correspondia ao consumo anual de 7,8 milhões de residências (considerando consumo médio de energia de uma residência no Brasil de 161 kWh por mês). Esses resultados refletem, principalmente, as ações do Selo Procel, ferramenta de orientação e estímulo à aquisição de equipamentos mais eficientes dialogando diretamente com o consumidor final.

2.3.3 Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000

A lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000, “dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica” (BRASIL, 2000).

Concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica devem aplicar, parcela de suas receitas líquidas em programas de eficiência energética e pesquisas de desenvolvimento do setor elétrico, seguindo as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Até 31 de dezembro de 2022, “os percentuais mínimos definidos serão de 0,50%, tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia” (BRASIL, 2000).

3 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

3.1 ANÁLISE DO PADRÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO E REGIÃO SUL

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) de 2026, estima-se um crescimento de 1,8% no consumo de energia elétrica residencial anual no intervalo entre 2016 e 2026, justificado por um “resultado conjunto do aumento da renda médias das famílias, do número de novos domicílios, das políticas de eficiência energética e da expansão da malha de distribuição de combustíveis” (EPE, 2017a).

O consumo mensal por consumidor residencial brasileiro indicava 159 kWh mensais em 2016 e uma projeção para o ano de 2026 de 182 kWh/mês, com um crescimento médio de 1,4% ao ano. O crescimento médio populacional chega a 2,5% ao ano, tendo o número de consumidores aumentando de 69,4 em 2016 para 88,6 milhões de habitantes em 2026. Com isso o setor residencial abrange um aumento de 0,8% na participação no consumo da rede, atingindo 29,7% do consumo total (EPE, 2017a).

Com o aumento da posse de novos eletrodomésticos também prevê-se um aumento na eficiência desses equipamentos, o que demonstra como resultado pouco aumento no consumo médio residencial e um aumento significativo na conservação de energia elétrica (EPE, 2017a).

No Gráfico 2 abaixo é possível se ver a divisão do consumo de energia elétrica entre as classes no Brasil no ano de 2016.

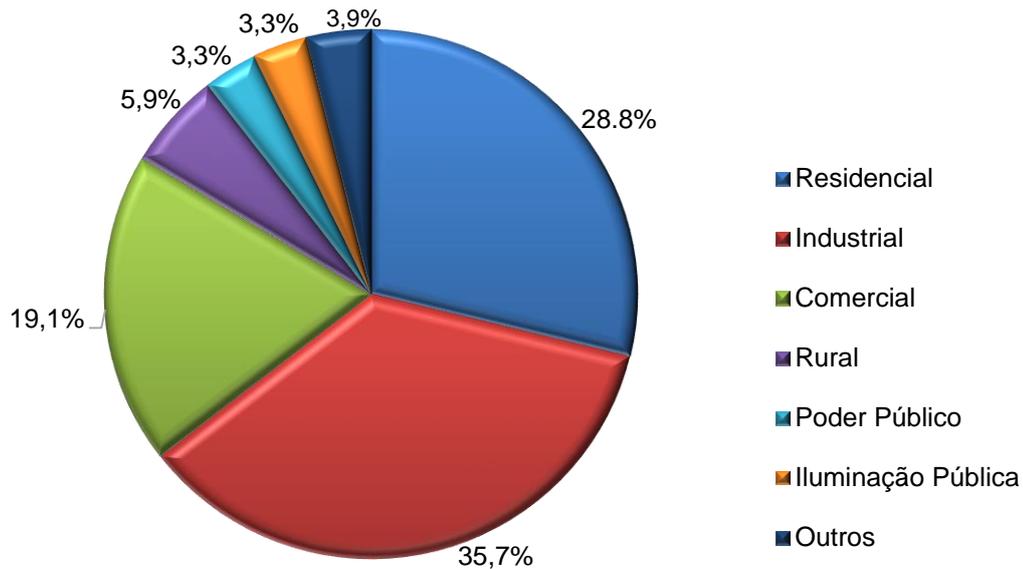


Gráfico 2 - Consumo de Energia Elétrica por Classe.
Fonte: Adaptado de EPE (2017b).

No ano de 2016 o consumo total de energia elétrica do Brasil alcançava 460,829 TWh onde somente o setor residencial era responsável por 28,8%, registrando 132,872 TWh, atrás somente do setor industrial que ocupava 35,7% do consumo total como mostra o Gráfico 2 acima (EPE, 2017b).

Referindo-se consumo total de energia elétrica brasileiro, 17,8% correspondiam ao consumo da região Sul país registrando 82,063 TWh com um consumo médio mensal de 568,5 kWh/mês. Desta porcentagem de consumo, o setor residencial correspondia a 4,5% com 20,714 TWh chegando a 15,6% do consumo residencial brasileiro (EPE, 2017b).

O Brasil em 2016 atendia a 80,621 milhões de consumidores de energia elétrica, onde 69,277 milhões, cerca de 85,9%, correspondiam ao setor residencial. Do total do número de consumidores brasileiros, 12,030 milhões de consumidores (14,9%) equivalem a região Sul do país onde 81% correspondem ao setor residencial com 9,746 milhões de consumidores (EPE, 2017b).

Em 2017 o consumo da região Sul do país teve uma média mensal de consumo de 7.068.906 MWh/mês como pode ser verificado no Gráfico 3. Cerca de 25% deste consumo correspondia ao setor residencial com 1.764.784 MWh/mês, segundo dados de consumo mensal de energia elétrica por classe (EPE, 2018a).

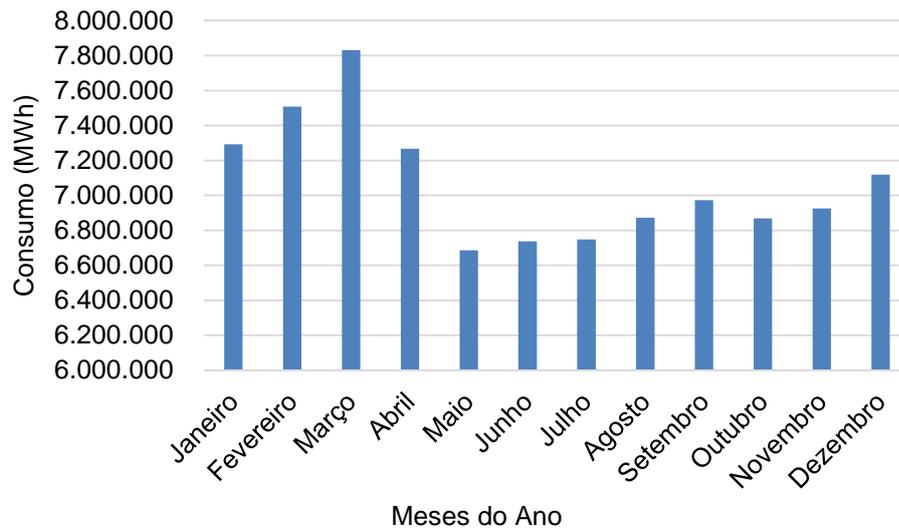


Gráfico 3 - Consumo Total de Energia Elétrica da Região Sul do Brasil no Ano de 2017.
Fonte: Adaptado de EPE (2018a) – Dados Anexo B.

Pode-se observar também pelo gráfico anterior que há um aumento significativo no consumo da energia elétrica entre os meses de Janeiro à Março do ano, este aumento está diretamente relacionado com o aumento das temperaturas na região. Por se tratar de um região de clima quente no verão, o uso excessivo dos aparelhos condicionadores de ambiente (geralmente o ar-condicionado) traz um aumento no consumo de energia, tanto no setor residencial quanto comercial.

A Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica de Junho de 2018 indicou um aumento no mês de Maio de 2,9% no consumo de eletricidade residencial em relação a maio de 2017, tendo como destaque o aumento do consumo a região Sul do país. O aumento de 14,2% se deve principalmente pela influência de altas temperaturas em períodos incomuns, sob um aumento no uso de condicionadores de ambiente. Também é o caso do setor comercial com um aumento de 3,9%, e com destaque para a região Sul com aumento de 15,2% em relação ao ano passado (EPE, 2018b).

A Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso (PPH) é uma das pesquisas mais recentes que tem como abrangência o uso final de energia elétrica no setor residencial. A Figura 2 abaixo, demonstra uma curva de carga média para o consumidor da região Sul do país.

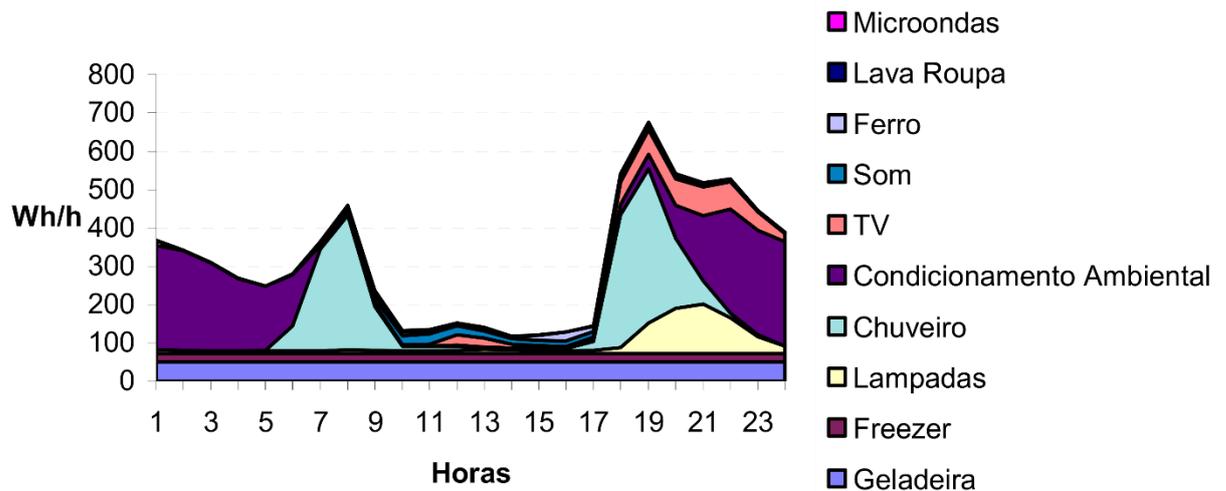


Figura 2 - Curva de Carga Média para o consumidor da Região Sul.
Fonte: PROCEL (2007).

Baseando-se na curva de carga média da região foram selecionados além do chuveiro elétrico, o qual é o foco deste trabalho, outros três equipamentos de uso final de energia elétrica para análise. Sendo eles: Refrigeradores, ar-condicionado e também as lâmpadas, por serem os equipamentos que tem maior participação na curva diária do consumidor residencial ao longo do dia.

3.1.1 Padrão de Consumo de Chuveiros Elétricos

Como demonstrado no Gráfico 4, a principal fonte para o aquecimento de água no Brasil, sobretudo para banho, é a energia elétrica. Segundo Brecht (2016), vários fatores influenciam no padrão de consumo de energia para esse fim, entre elas fatores geográficos (clima, zonas bioclimáticas), fatores econômicos (PIB, posse de equipamentos, distribuição de renda) e fatores sociais (IDHM, acesso à água canalizada e saneamento básico).

Os fatores citados no parágrafo acima complementam a ideia exposta no trabalho de Gonçalves, Fedrigo e Figueiredo (2009), no qual registra que a Região Sul por possuir maior renda por domicílio e menores temperaturas médias anuais apresenta um alto consumo de energia elétrica residencial estando intimamente relacionado à utilização de chuveiros elétricos.

O Gráfico 4 representa a Pesquisa de Orçamentos Familiares realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para os anos de 2008-2009, onde

apresenta-se o percentual de domicílios permanentes por fonte de aquecimento de água e por localidade.

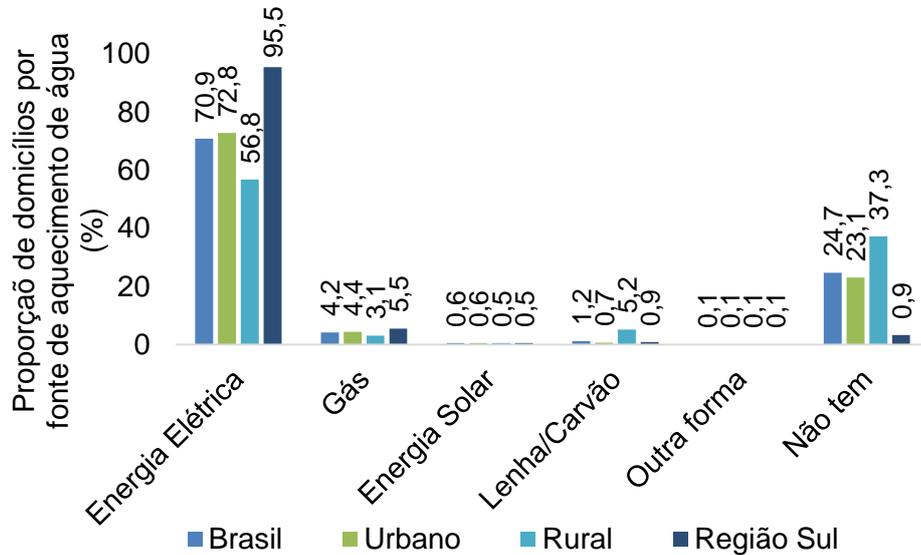


Gráfico 4 - Proporção de domicílios particulares permanentes com água encanada, por fonte de aquecimento de água (%).
 Fonte: Adaptado de IBGE (2012).

Comprova-se a partir do Gráfico 4 que a energia elétrica é preponderante para o aquecimento de água seguido do Gás, Lenha/Carvão e Energia Solar com pequenos percentuais. Nota-se ainda que com expressividade a energia elétrica representa a maior parcela na Região Sul como fonte de aquecimento de água chegando a 95,5%.

A energia elétrica é a forma predominante no que se refere à aquecimento de água e o equipamento mais utilizado para esse fim é o chuveiro elétrico. Segundo MME (2007), “a escolha do chuveiro elétrico como forma de aquecimento de água pela maior parte dos domicílios brasileiros se deve, principalmente, ao seu baixo custo inicial e facilidade de instalação e operação”. Essa predominância pode ser melhor visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 - Forma de aquecimento de água no setor residencial.

	2014	2015	2019	2024
Número de domicílios (%)				
Chuveiro Elétrico	66,3%	65,6%	62,2%	58,3%
Sistemas de Aquecimento Solar	4,8%	5,4%	8,1%	11,0%
Gás Natural	3,5%	3,8%	4,9%	6,5%
Outras Fontes	4,7%	4,7%	4,8%	4,8%
Sem aquecimento de água	20,7%	20,4%	20,0%	19,4%

Fonte: Adaptado de EPE (2016a).

De acordo com os estudos realizados pela EPE mostrados na Tabela 1, em 2014, aproximadamente 66,3% dos domicílios brasileiros possuíam pelo menos um chuveiro elétrico e estima-se uma redução para 58,3% em 2024 devido a um aumento de casas com sistemas de Aquecimento Solar e Gás Natural para aquecimento de água. Entretanto, a diminuição da posse desses equipamentos é nivelada considerando um aumento na potência dos chuveiros elétricos, representada principalmente pelo aumento da renda da população, definindo uma tendência de escolha por chuveiros com potências elétricas maiores (EPE, 2016a).

Ainda, em 2014, o chuveiro elétrico correspondia a 16,15% do consumo de energia elétrica no setor residencial. As projeções para 2024, revelam que esse equipamento passaria a representar 12,16% do consumo total do setor residencial (EPE, 2016b).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) o consumo de energia elétrica dos chuveiros elétricos por domicílios em alguns estados pode ser vista na Figura 3.

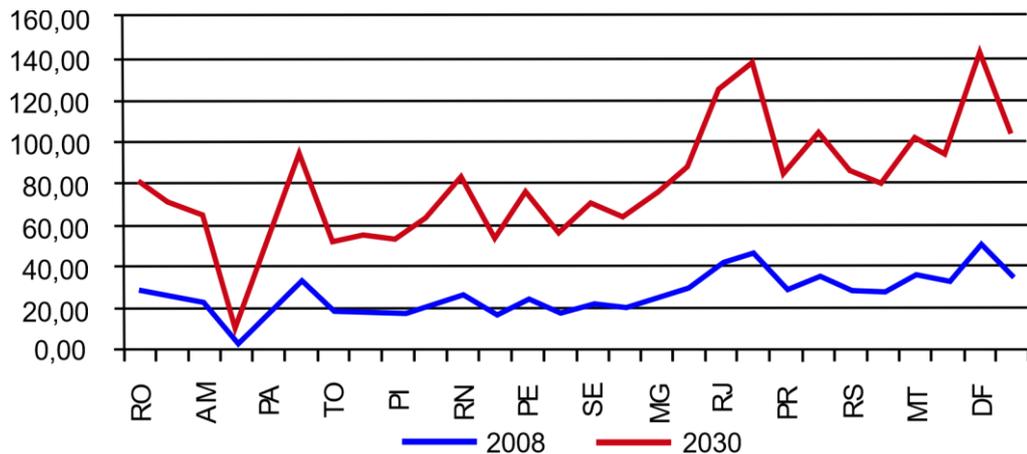


Figura 3 - Tendência do consumo dos chuveiros elétricos por domicílio para 2030 (MWh/mês).
 Fonte: Adaptado de MME (2011).

Como pode ser visualizado na Figura 3 as regiões Sul (Paraná e Rio Grande do Sul), Sudeste (Minas Gerais e Rio de Janeiro) e Centro-Oeste (Mato Grosso e Distrito Federal) apresentam tendência de crescimento do consumo dos chuveiros elétricos maior do que para as demais regiões. As projeções do estudo do PNEf ainda indicam sobre o consumo de energia elétrica por domicílios em 2030 e o consumo médio dos chuveiros elétricos na região Sul que será de 21,4% do consumo residencial total. Portanto, do ponto de vista da conservação energética, ações ligadas ao setor de aquecimento de água tomadas na Região Sul podem trazer mais benefícios se comparadas às demais regiões (MME, 2011).

O chuveiro elétrico apresenta características de potências cada vez mais elevadas e baixos fatores de carga. Além disso, características de hábito de uso desse equipamento revelam que o uso desses equipamentos, embora apresentem alta eficiência térmica (cerca de 95% da eletricidade consumida é transferida como calor à água), contribuem significativamente para os picos de demanda, principalmente nas regiões Sul e Sudeste – regiões com maior posse média de chuveiros elétricos (MME, 2007).

Segundo o PNEf, em 2010, os chuveiros elétricos representavam 18% do pico de demanda e 6% de todo o consumo nacional de eletricidade (MME, 2011). Problema exposto por Cardemil (2017), que afirma que o aquecimento direto da água por meio da eletricidade representa um dos maiores problemas enfrentados pelo setor elétrico devido ao fato de que a rede deve ser projetada para suprir o seu alto consumo, acarretando altos custos de transmissão e distribuição para o operador do sistema e para as concessionárias.

Uma das principais pesquisas a respeito do hábitos de uso e posse de equipamentos nos domicílios brasileiros é a PPH do Procel que em 2006 veiculou o Relatório Classe Residencial Sul onde apresenta algumas características sobre o uso de chuveiros elétricos nessa região.

A Figura 4 apresenta a curva de carga diária média para o consumidor residencial conforme resultados obtidos na PPH citados no parágrafo acima.

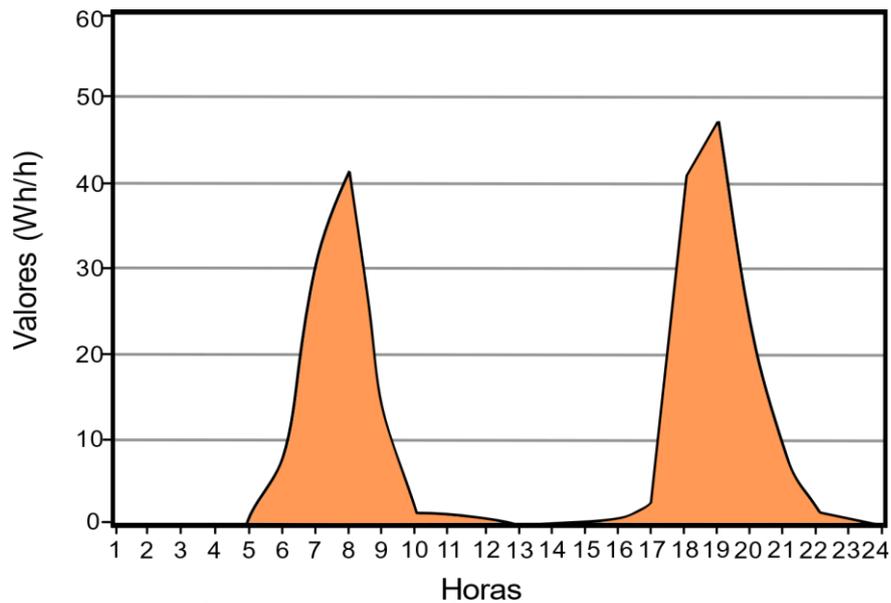


Figura 4 - Curva de Carga Média do Chuveiro Elétrico para o Consumidor Residencial da Região Sul.

Fonte: Adaptado de PROCEL (2018b).

Confrontando a Figura 4 com os dados da PPH em questão para a região Sul, percebe-se que o chuveiro elétrico representava 25% do consumo residencial total com picos de demanda entre às 7h e 9h da manhã e 18h e 20h da noite. Segundo a pesquisa a posição da chave do chuveiro se encontrava em 77,42% dos domicílios na opção inverno. E ainda, concluiu-se que a região Sul possui a maior posse média de chuveiros: 1,17 por domicílio sendo a maior parte (43,20%) dos equipamentos na faixa de 4,4 kW (PROCEL, 2007).

E é em face ao pico noturno resultado do padrão do uso do chuveiro elétrico, que o trabalho visa abordar técnicas para o alívio de carga do sistema no que se refere à utilização desse equipamento.

3.1.2 Padrão de Consumo Refrigeradores

“Juntos, equipamentos como televisão, máquina de lavar roupas, lâmpadas, geladeiras, freezers, ar condicionado e chuveiro elétrico foram responsáveis por aproximadamente 76% da demanda total de energia elétrica do setor residencial em 2013” (EPE, 2016a).

O consumo unitário de energia elétrica dos refrigeradores apresentou uma queda ao longo dos anos devido a um desenvolvimento tecnológico e um maior interesse dos fabricantes em satisfazer as exigências dos consumidores, impulsionado por um avanço da informação sobre o desempenho dos equipamentos levados através de programas como o Selo Procel (Cardoso; Nogueira, 2007). Entre 2000 e 2014, obteve-se uma redução de até 26% no consumo de energia elétrica dos refrigeradores em resposta ao desenvolvimento tecnológico incentivado pelo Selo Procel (PROCEL, 2015).

Porém, deve-se levar em conta ainda a grande quantidade de equipamentos antigos e ineficientes nos domicílios brasileiros (estima-se que a presença desses equipamentos com tempo de uso superior a 15 anos seja de aproximadamente 12% e com mais de 10 anos seja de 30,6%), consumindo até 5 vezes mais quando comparados com os modelos mais eficientes disponíveis no mercado. Além disso, a Região Sul, com maior média de posse de refrigeradores “apresentou um parque de refrigeradores um pouco mais velho, nessa região, 26,36% dos refrigeradores apresentaram idade superior a dez anos, média superior à das regiões Nordeste e Centro Oeste” (MELO; JANUZZI, 2008).

Segundo projeções da EPE, em 2014 os equipamentos de refrigeração participariam com 16,96% do consumo total de energia elétrica no setor residencial. Já em 2024, passaria para 12,52%. Referente a esses dados, entram na balança um aumento da eficiência para esses equipamentos indo de 5,0% em 2019 para 6,9% em 2024 e uma estabilidade na posse média desses equipamentos (EPE, 2016b).

Como descrevem Melo e Januzzi (2008), uma das ações das concessionárias acerca do alto consumo dos refrigerados e ineficiência dos equipamentos tem sido realizar a substituição dos refrigeradores para populações de baixa renda seguindo as implicações da Lei nº 9.991. Ainda, percebeu-se uma forte relação entre idade dos equipamentos em função das faixas de renda, demonstrando

que programas voltados para esse campo potencializam os efeitos em relação a conservação de energia.

A Figura 5 apresenta a curva de carga diária média para o consumidor residencial referente ao consumo de energia elétrica das geladeiras.

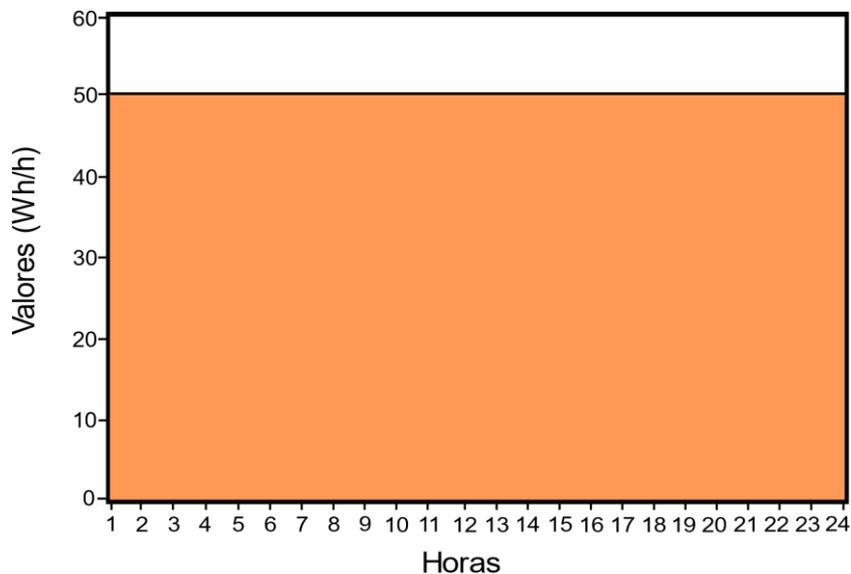


Figura 5 - Curva de Carga Média das Geladeiras para o Consumidor Residencial da Região Sul. Fonte: Adaptado de PROCEL (2018b).

De acordo com a Figura 5, verifica-se um consumo constante que de acordo com a forma de operação desse equipamento permitindo esse tipo de aproximação (PROCEL, 2007).

Segundo a PPH de 2005, a nível nacional, os refrigeradores representavam 22% do consumo total de energia elétrica do setor residencial e na Região Sul representavam 16%. Ainda para a região Sul, a posse média de refrigeradores nas residências é de 1,01 apresentando o maior percentual frente às demais regiões. A média de idade dos refrigeradores nos domicílios em sua maioria (56,3% do universo analisado) fica na faixa de 5 a 8 anos e em 98,7% dos domicílios a frequência de uso é permanente (PROCEL, 2007).

3.1.3 Padrão de Consumo de Condicionadores de Ambiente

Para Costa (2016): “A qualidade de vida e a saúde do homem estão diretamente ligadas ao conforto térmico. O organismo humano tem melhores

condições de trabalho através da redução do *stress* e fadiga advindos da falta de conforto térmico e motivados principalmente pelas intervenções humanas”. E uma das maneiras de prover este conforto é o uso dos condicionadores de ambiente, o conhecido ar-condicionado.

Com o desenvolvimento da eficiência energética do ar-condicionado estimou-se um crescimento no número de equipamentos por domicílio de 7,5% ao ano no período de 2005 a 2010 e de 10,3% ao ano até 2020, para famílias com até 3 salários mínimos; registrou-se ainda um aumento de 9,1% de 2005 a 2010 e 6,1% ao ano até 2020 para domicílios de 3 a 7 salários mínimos; e, para domicílios com renda acima de 7 salários mínimos o crescimento se mostra inferior aos demais sendo de 2,8% ao ano e 2005 a 2010 e 1,8% ao ano até 2020 (ANDRADE, 2014). A julgar pelos resultados, o aumento progressivo do número de equipamentos por domicílio diminui conforme o aumento de renda, isto porque famílias com maior renda tendem a já ter adquirido o aparelho, somente trocando-o por outros com maior eficiência.

Andrade (2014), estima também o consumo específico para o equipamento no ano de 2020 conforme as faixas de renda anteriormente descritas, sendo de 251 kWh/ano para famílias com renda de até 3 salários mínimos, seguindo de 414 kWh/ano para renda entre 3 e 7 salários mínimos e 445 kWh/ano para renda maior de 7 salários mínimos.

De acordo com a Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica em janeiro de 2014 houve um aumento significativo de 7,9% no consumo de energia, tendo como boa participação a região Sul devido a altas temperaturas. Este consumo corresponde a cerca de 4,684 TWh nos meses de verão estando diretamente correlacionado a um aumento na venda de ar-condicionado como é possível ver no Gráfico 5 (EPE, 2014).

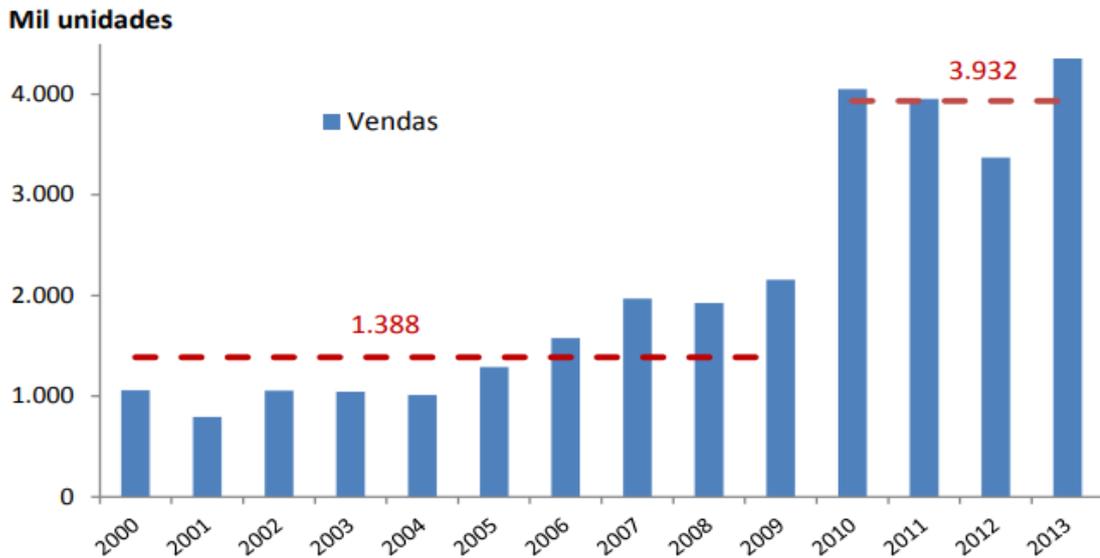


Gráfico 5 - Vendas de Equipamentos de Ar Condicionado (tipo janela e Split).
 Fonte: EPE (2014).

Segundo dados do PDE - 2026, em 2016 a posse média equipamentos condicionadores de ar em unidades a cada 100 domicílios era de 46, tendo uma projeção de 56 para 2021 e em 2026 de 60. Em vista disso, vê-se um crescimento de cerca de 22% no aumento de posse do equipamento entre 2016 e 2021 e nos seguintes cinco anos apenas um aumento de 7,14%. O aumento significativo na posse advém principalmente do aumento da renda familiar, associado com um menor custo na oferta do equipamento (EPE, 2017a).

Em 2016 o consumo médio do condicionador de ambiente correspondia a aproximadamente 640 kWh por ano com uma projeção de redução de 4,7 % no consumo para cerca de 610 kWh por ano em 2026 (EPE, 2017a). Apesar do aumento na posse do equipamento, a melhoria na eficiência do produto devido a diversos meios de conservação de energia acarretam em uma queda no consumo de energia elétrica.

O ganho de eficiência estimado para o serviço de climatização no setor residencial tem uma premissa de 6,5% no ano de 2020 e de 34,3% em 2050, aumentando cerca de 9,3% a cada 10 anos. Estima-se que em 2020 o consumo de energia elétrica nesse setor será de 42.427 GWh com um aumento para 123.302 GWh em 2050 (EPE, 2016a).

Dados do EPE mostram que o consumo de energia elétrica somente na região Sul do país tem um valor maior no verão em relação a média das outras estações do ano, como pode se ver no Gráfico 6.

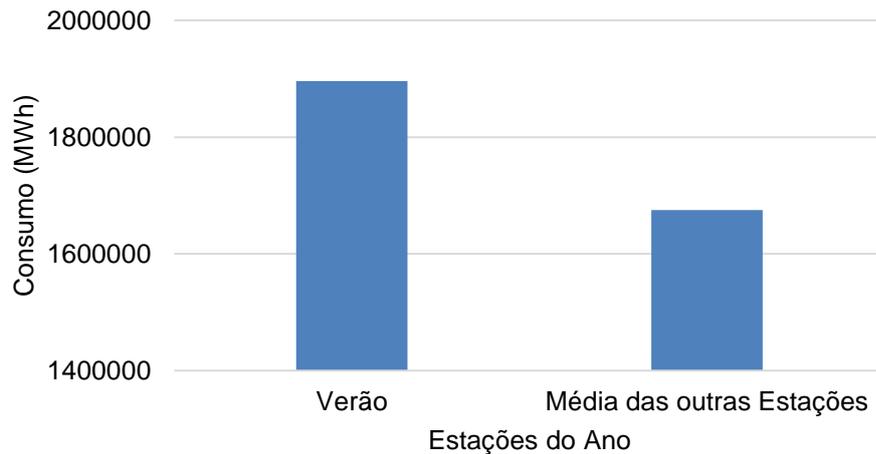


Gráfico 6 - Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial da Região Sul.
Fonte: Adaptado de EPE (2018a) – Dados dos Anexos C e D.

Os dados de consumo residencial da região Sul correspondem ao período de Abril de 2017 à Março de 2018, pode-se ver um aumento do consumo de energia de cerca de 13,2 % no verão chegando a 1.897.536,37 MWh em comparação às outras estações do ano com 1.675.170,934 MWh (EPE, 2018a). Este aumento significativo no consumo de energia elétrica no verão se deve principalmente ao uso dos condicionares de ambiente.

O PNE usa como base para a projeção do uso de energia elétrica a pesquisa de posse e hábitos de uso do PROCEL, por ser uma pesquisa com resultados específicos sobre o uso final da energia em eletrodomésticos nas residências. A pesquisa mostra que em 2005 o condicionamento ambiental correspondia a 20% do consumo total residencial brasileiro, e sua contribuição no consumo da região Sul era de 32%. A Figura 6 abaixo, traz a curva de carga média para o equipamento ar-condicionado por domicílio da região Sul do país (PROCEL, 2007).

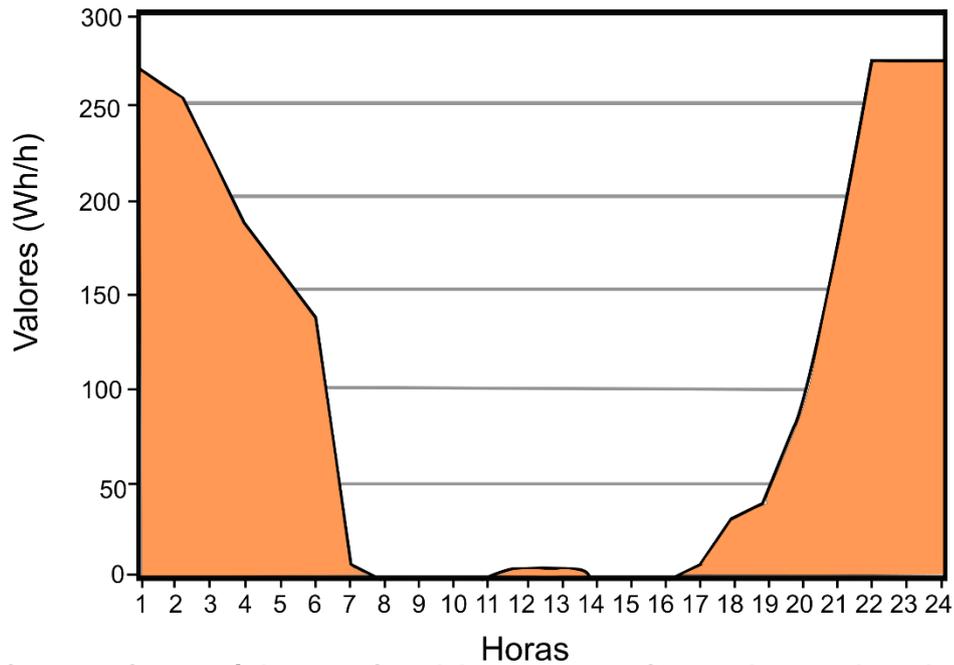


Figura 6 - Curva de Carga Média do Ar-Condicionado para o Consumidor Residencial da Região Sul.

Fonte: Adaptado de PROCEL (2018b).

A pesquisa (PPH) demonstra que a região Sul no ano de 2005 possuía a segunda maior posse do ar-condicionado atrás somente da região Norte (PROCEL, 2007).

No que leva em consideração as condições climáticas de cada região a PPH registrou que cerca de 98,4% dos consumidores da região Sul não utiliza o equipamento em climas amenos, no clima frio 82,9% não fazem uso do equipamento, e no clima quente 30,5% fazem uso maior de 4 vezes por semana e 22,9% possuem um uso médio de 1 a 3 vezes por semana. Corroborando para um aumento do consumo em climas quentes (PROCEL, 2007).

3.1.4 Padrão de Consumo das Lâmpadas

Segundo Aneel (2017a): “Utilizadas em larga escala desde o final do século XIX, as lâmpadas incandescentes estão sendo eliminadas devido a sua ineficiência energética. Além de consumir até 80% mais energia elétrica do que as lâmpadas fluorescentes, as mesmas iluminam menos e possuem menor vida útil.”

De acordo com dados do PDE 2026, a lâmpada têm um aumento ínfimo no que cabe a posse média de equipamentos tendo registrado em 2016 uma média de 8,9 lâmpadas por domicílio, já em 2021 um acréscimo de 2,25% com 9,1 e em relação a 2026 um aumento de 2,20 % chegando a 9,3 lâmpadas/domicílio. Com base nesses resultados e também levando em consideração o emprego de lâmpadas com maior eficiência, fluorescentes compactas e LED com a retirada das lâmpadas incandescentes de circulação, prevê-se uma estabilidade no consumo final das lâmpadas por residência (EPE, 2017a).

Condizendo com a redução da posse das lâmpadas o PDE 2026 também disponibiliza o valor do consumo médio projetado em dez anos, tendo como resultados em 2016 um consumo médio de 30 kWh para 10 kWh em 2026, uma redução de cerca de 33,3 % no consumo anual do equipamento (EPE, 2017a).

Estima-se ainda uma projeção para o consumo das lâmpadas em 2020 por faixa de renda, considerando a extinção do uso das lâmpadas incandescentes. Para famílias com até 3 salários mínimos e a faixa entre 3 e 7 salários mínimos, o consumo se mantém o mesmo com 17 kWh/ano. E para domicílios com renda acima de 7 salários mínimos o consumo estimado seria de 14 kWh/ano, apresentando um menor consumo devido a eficiência dos equipamentos adquiridos (ANDRADE, 2014).

Melo (2009), estima com o banimento das lâmpadas incandescentes um aumento no estoque de lâmpadas no setor residencial de 800 milhões em 2008 para pouco mais de 1 bilhão de unidades em 2030. Ele considera dois cenários em suas análises, lâmpadas incandescentes (Base) e lâmpadas fluorescentes compactas (MEPS-Padrões mínimos de desempenho energético). No ano de 2008 a taxa anual média de crescimento no consumo Base era de 1,22 % ao ano, chegando a 23,7 TWh de consumo em 2030, em comparação com o MEPS que previa a estabilidade do consumo com uma redução de 50% com cerca de 10 TWh. Na Figura 7 abaixo é possível ver a projeção do consumo (MELO, 2009).

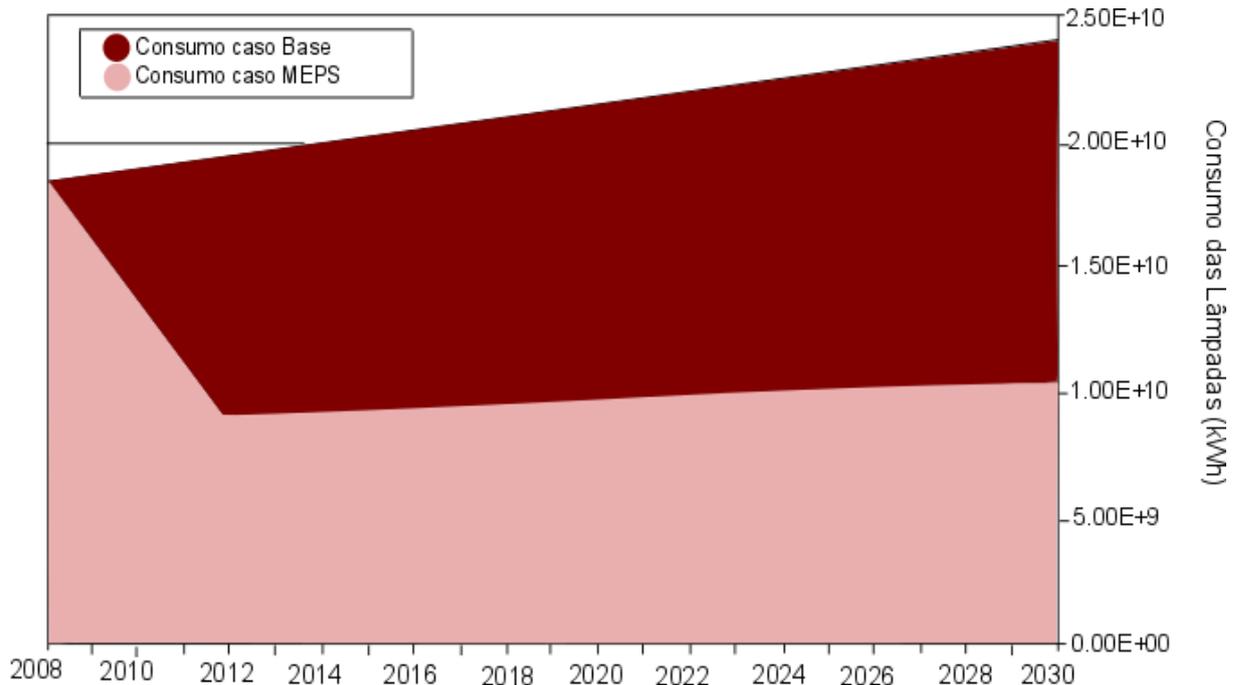


Figura 7 - Projeção do Consumo do consumo de lâmpadas no cenário Base e MEPS entre os anos 2008-2030.

Fonte: Adaptado de Melo (2009).

O PNE registra indicadores de posse de equipamentos de iluminação com uma projeção de 8,25 em 2013 para 10,43 em 2050. E com a substituição de lâmpadas incandescentes por mais eficientes, prevê-se um aumento anual de 0,16 % na eficiência do uso desse serviço no setor residencial. O ganho de eficiência neste setor apresenta um aumento de 1,1% em 2020 para 5,8% em 2050 (EPE, 2016a).

No que cabe a economia de energia parte-se da premissa que 6,4 TWh partiram da retirada de lâmpadas incandescentes de circulação e substituindo-as por lâmpadas de LED, resultando em uma média de aumento no número de lâmpadas de 8 para 12 em 2050. A partir de premissas de consumo o PNE também demonstra um consumo no setor da iluminação de 17,754 TWh em 2020 com uma queda no consumo para 8,354 TWh, porém dados mostram que a diminuição drástica no consumo ocorre somente a partir de 2040 onde o setor tinha como consumo 15,477 TWh (EPE, 2016a).

A Figura 8 abaixo representa a curva de carga média para as lâmpadas considerando o consumidor da região Sul segundo a PPH do Procel.

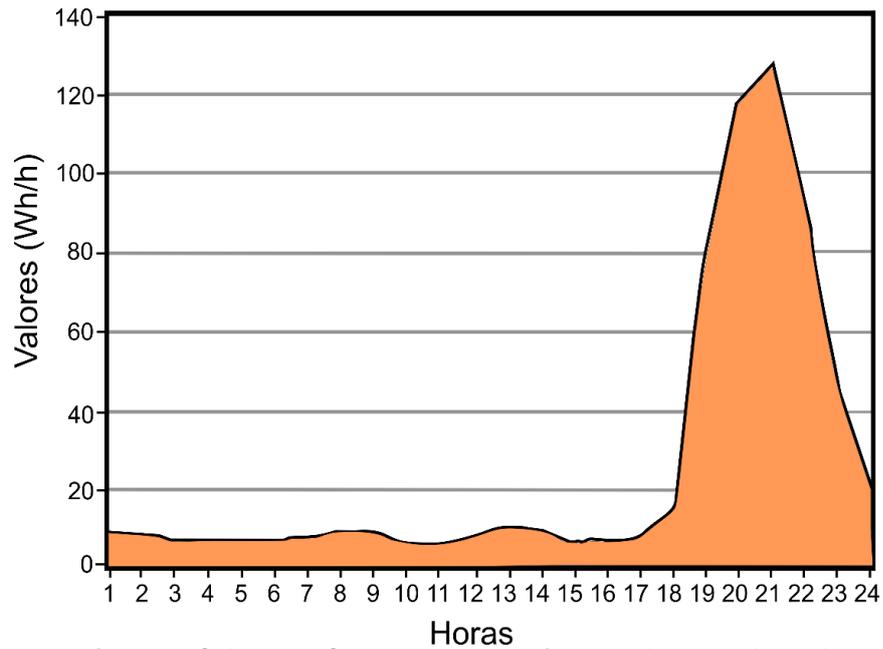


Figura 8 - Curva de Carga Média das Lâmpadas para o Consumidor Residencial da Região Sul.
Fonte: Adaptado de PROCEL (2018b).

A pesquisa mostra que em 2005 as lâmpadas correspondiam a 14% do consumo residencial brasileiro, e 8% do consumo regional Sul (PROCEL, 2007). A curva de carga acima mostra o padrão de consumo médio residencial na região, analisando-se um pico no consumo entre às 19h e 22h.

Aferiu-se ainda que a posse média das lâmpadas fluorescentes estimava 5,31 unidades por domicílio na região (a maior registrada no Brasil), registrando uma redução do uso das lâmpadas incandescentes com 2,78 unidades por residência. Do contrário a região Sudeste registrou a maior posse de lâmpadas incandescentes com 5,36 unidades por domicílio (PROCEL, 2007).

4 TÉCNICAS PARA CONTROLE DE CARGA DO CHUVEIRO ELÉTRICO

Este capítulo visa reunir técnicas para redução do consumo de energia elétrica dos chuveiros elétricos nas residências por meio de ferramentas de controle direto e indireto de carga. Para as técnicas de controle direto de carga apresenta-se uma ideia geral de cada técnica: aspectos de funcionamento, vantagens, desvantagens, grau de severidade (se permite banho frio, morno ou quente) e nível de aceitação do consumidor.

4.1 TÉCNICAS DE CONTROLE DIRETO DE CARGA

Nesta seção serão analisadas quinze técnicas que visam diminuir a potência demandada pelo chuveiro elétrico segundo Portolann et. al (2010), sendo elas: relé horário, operação 220 V em rede 127 V, seccionamento do terminal intermediário da resistência, temporizador, aquecedor solar, disjuntor subdimensionado, retificador meia onda a diodo e a SCR, controlador de tensão de corrente alternada e a combinação destes com relé horário.

4.1.1 Temporizadores

A restrição do uso dos chuveiros elétricos utilizando temporizadores se baseia na ideia de atuar diretamente no tempo de uso e não na potência do equipamento. Popularmente encontram-se chuveiros com temporizadores à venda, onde variam entre corte total de água ou corte do aquecimento da água, e ainda permitem a programação do tempo de intervalo de banhos.

Assim, em casos onde o tempo médio de banho é longo a técnica com temporizadores traria vantagens. Além disso, essa técnica atua indiretamente na diminuição dos picos de demanda originados pelo uso do chuveiro elétrico ao diminuir a coincidência no horário de utilização do equipamento.

Uma alternativa de baixo custo e fácil implementação é discutida por Rempel e Campos (2012), em que o circuito temporizador proposto permite um ajuste no período da passagem da corrente sob o comando de um relé: “o chaveamento de corrente no chuveiro baseia-se na utilização de um relé interruptor que quando acionado eletricamente permite a passagem de corrente na carga (chuveiro)”. Ainda segundo a pesquisa, verificou-se o nível de aceitação do temporizador e concluiu-se que 96,6% do universo analisado aceitam experimentar o dispositivo.

Portanto, a técnica pode ter um melhor nível de aceitação se vinculada a campanhas contra o desperdício de água. Porém, deve-se levar em conta que a técnica afeta diretamente o conforto do usuário (ao terminar a contagem de tempo o banho passa a ser frio, por exemplo). Entre os seus benefícios lista-se: a fácil instalação, redução do desperdício de água e o aumento do fator de diversidade diminuindo a coincidência do uso do chuveiro elétrico no horário de ponta.

4.1.2 Relé Horário

O relé horário tem como principal característica abrir ou fechar um circuito durante uma determinada faixa de tempo. Existem dois tipos de relés horários: digitais e mecânicos. O primeiro é pré-programado através dos botões lógicos do dispositivo e o segundo é programado manualmente, ambos são de extrema importância em automatizações de cargas residenciais para economizar energia. São aplicados geralmente para manobras e controle de tempo em sistemas de iluminação, irrigação, estufas, entre outros que necessitem ser ligados ou desligados em determinado horário durante por um tempo programado (SIEMENS, 2012).

No trabalho em questão, o relé horário atuaria ao desligar a alimentação do chuveiro elétrico durante os horários de ponta noturno da concessionária, como pode ser representado na Figura 9 abaixo.

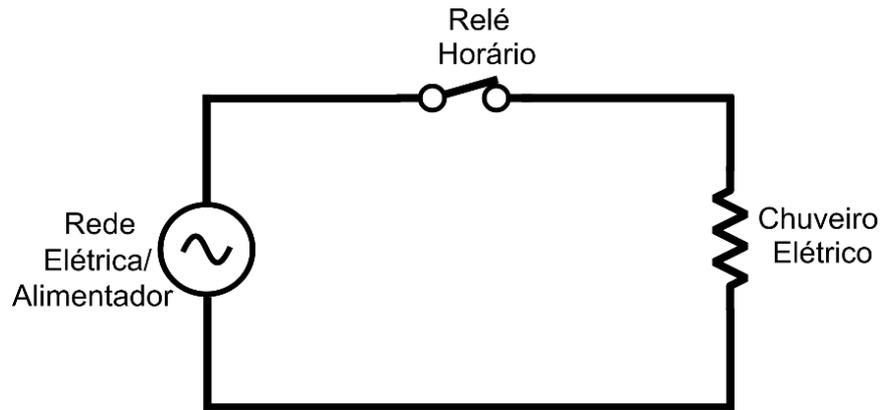


Figura 9 - Configuração do relé horário.
Fonte: Autoria Própria.

Ou seja, para esta medida teríamos a seguinte relação de potência para os horários fora de ponta:

$$P_2 = P_1 \quad (5)$$

Onde:

P_2 : Potência após a inserção da técnica utilizada;

P_1 : Potência nominal do chuveiro.

E nos horários de ponta a potência obtida ao termos o dispositivo funcionando seria nula, ou seja, $P_2 = 0$.

Essa medida faria com que a potência utilizada pelos chuveiros em horários de ponta fosse totalmente reduzida. A única questão seria o nível de aceitação dos consumidores pois, teriam de deixar de utilizar seus chuveiros no horário especificado. Por outro lado, acarretaria em uma grande diminuição do consumo da energia neste horário, tendo como consequência um aumento no fator de carga da distribuidora.

4.1.3 Retificador de Meia Onda a Diodo

A técnica utilizando retificadores de meia onda requer a instalação de um diodo em série à resistência do chuveiro elétrico, diminuindo pela metade a potência dissipada na carga. O circuito esquemático pode ser visualizado na Figura 10.

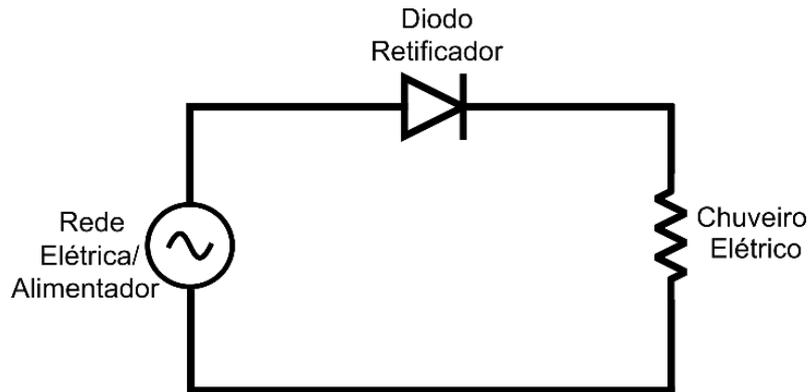


Figura 10 - Retificador Meia Onda para Chuveiro Elétrico.
Fonte: Autoria Própria.

No ciclo positivo do sinal da fonte o diodo encontra-se diretamente polarizado (considerando um diodo ideal), a tensão sobre ele é nula e a corrente do circuito é positiva. Na região negativa do sinal de entrada, polariza-se reversamente o diodo e a corrente torna-se nula (HART, 2011).

Segundo Hart (2011), a potência média absorvida pela carga pode ser calculada pelas equações 6 e 8.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} [V_m \cdot \text{sen}(\omega t)]^2 d(\omega t)} = \frac{V_m}{2} \quad (6)$$

$$V_m = \sqrt{2} V_s \quad (7)$$

$$P_{carga} = \frac{V_{rms}^2}{R_{chuveiro}} \quad (8)$$

Onde V_m representa o valor máximo da tensão de alimentação; V_s é a tensão eficaz da fonte de alimentação; V_{rms} representa a tensão eficaz do sinal retificado; P_{carga} corresponde à potência média absorvida pela carga; e $R_{chuveiro}$ representa a resistência imposta pela carga.

Assim, a relação entre a potência nominal do chuveiro (P_1) e a potência do chuveiro após a aplicação da técnica (P_2) pode ser dada pela equação 9.

$$P_2 = \frac{P_1}{2} \quad (9)$$

Relacionando as equações 6 e 8 e a potência nominal do chuveiro elétrico, percebe-se que ao se aplicar a técnica por Retificadores Meia Onda a potência entregue ao chuveiro cai pela metade, permitindo apenas que o usuário tome banhos mornos independente do horário do dia, atuando diretamente no controle da temperatura do dispositivo.

Ao avaliar essa ferramenta, percebe-se que o efeito na diminuição do pico de demanda é considerável; o nível de aceitação é promissor (afeta o conforto do consumidor ao tomar banhos mornos) e em linhas gerais, apresenta bom desempenho.

4.1.4 Retificador Meia Onda a Diodo e Relé Horário

A técnica com Retificador Meia Onda a Diodo e Relés Horários visa melhorar o conforto do usuário, pois entra em ação apenas no horário programado (para esse estudo considera-se o horário de ponta). O Relé Horário permite a configuração do horário de atuação, permitindo o acionamento de equipamentos de maneira automática.

Assim, no horário fora de ponta o chuveiro atua com sua potência nominal e no horário de ponta diminui pela metade a sua potência, assim como demonstrado na seção 4.1.3.

Portanto, essa técnica apresenta um potencial maior se comparada à algumas expostas nesse trabalho. Por permitir banhos quentes fora do horário de ponta e banhos mornos no horário de ponta, essa técnica pode adequar-se melhor a aceitação dos consumidores.

4.1.5 Retificador Controlado de Meia Onda

Para a construção de um Retificador Controlado de Meia Onda, utiliza-se um Retificador Controlado de Silício (SCR), componente da família dos tiristores, possuindo como característica fundamental a atuação por disparo. Basicamente, o SCR atua como um dispositivo de chaveamento.

Ou seja, quando uma tensão aplicada alcançar o valor de disparo o SCR passa ao estado ligado, e enquanto estiver abaixo do valor de disparo encontra-se no estado desligado. Ainda, “para passar o tiristor ao estado ligado, é preciso que a porta receba um pulso positivo de corrente de pequena amplitude apenas por um curto espaço de tempo” (AHMED, 2000).

A Figura 11 apresenta o esquema básico para a apresentação dessa técnica.

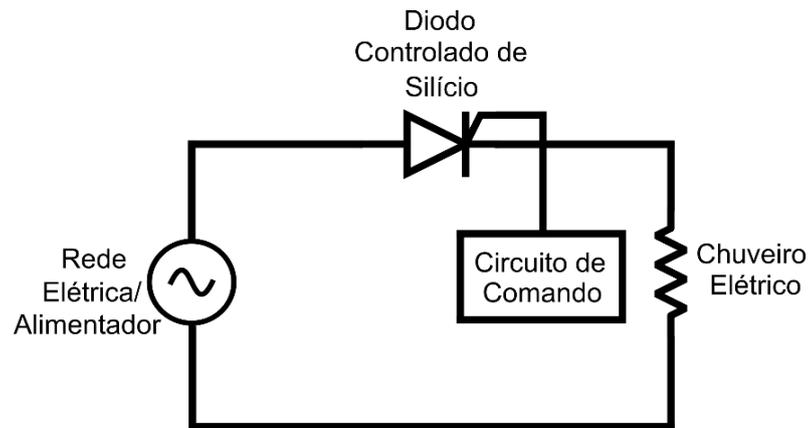


Figura 11 - Retificador Controlado de Meia Onda para Chuveiro Elétrico.
Fonte: Autoria Própria.

O circuito da Figura 11, é capaz de produzir uma tensão de saída em corrente contínua variável por meio do controle de fase, ou seja, alterando-se o período de condução e variando o ponto no qual o pulso é passado ao terminal porta do SCR (AHMED, 2000).

A potência do chuveiro elétrico ao aplicar-se a técnica com SCR, apresenta-se segundo a equação 11 como em Ahmed (2000).

$$P_1 = \frac{V_i^2}{R_{\text{carga}}} \quad (10)$$

$$P_2(\alpha) = P_1 \left[\frac{1}{2\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) \right) \right] \quad (11)$$

Sendo V_i a tensão de alimentação, R_{carga} a resistência representada pelo chuveiro elétrico, P_2 a nova potência do chuveiro elétrico, P_1 a potência nominal máxima do chuveiro e α o ângulo de disparo do dispositivo SCR. O ângulo de disparo ou ângulo de retardo representa o ponto em que o pulso de acionamento será aplicado

na porta do SCR, um aumento do valor representa uma diminuição da tensão aplicada à carga.

Sendo assim, a partir do controle do ângulo de disparo é possível variar a potência solicitada pela carga, além disso, a máxima potência solicitada (quando $\alpha=0^\circ$) pela carga é metade da potência nominal do chuveiro.

Conclue-se portanto, que a técnica para redução de potência por meio de SCR apresenta bons indicativos: reduz a potência exigida pelo chuveiro elétrico pela metade, pouca intervenção na temperatura do banho. Em contrapartida, apresenta alto impacto na emissão de harmônicas na rede como exposto em Ahmed (2000).

4.1.6 Retificador meia onda controlado com SCR e relé horário

Para maior comodidade do usuário, o Retificador meia onda controlado com SCR pode ser associado a um Relé Horário. Assim, a atuação do dispositivo para redução da potência atuaria apenas no horário programado permitindo banhos quentes no restante do dia. Apresentando as mesmas características expostas na seção 4.1.5 do trabalho.

4.1.7 Controlador de Tensão de Corrente Alternada

O Controlador de Tensão de Corrente Alternada ou Gradador de Tensão converte uma tensão fixa CA em uma tensão CA variável, sendo a frequência de saída igual à frequência de entrada. Um dos modos de controle de tensão é por meio de chaveamento CA, podendo ser aplicada por um par de SCRs ligados em antiparalelo por exemplo (AHMED, 2000). O esquema para a técnica proposta, utilizando SCRs pode ser visualizado na Figura 12.

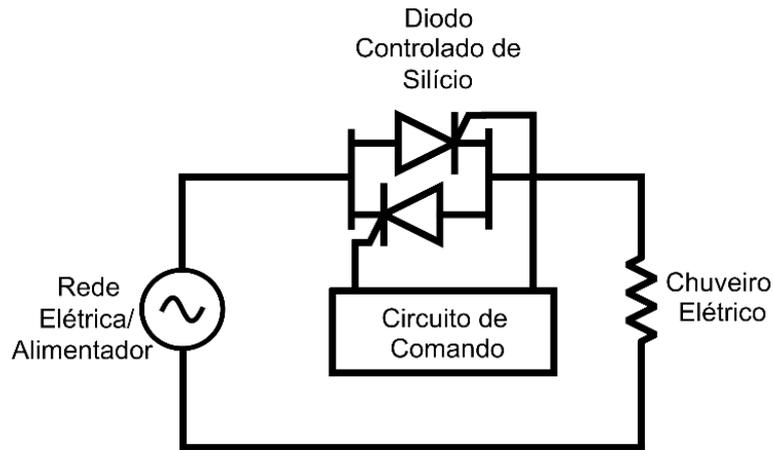


Figura 12 - Retificador Meia Onda com Controlador de Tensão para Chuveiro Elétrico.
Fonte: Autoria Própria.

Encontram-se dois métodos para o controle de potência na carga: controle por Ângulo de Fase e controle por Ciclos Inteiros. No controle por Ângulo de Fase, a variação de potência na carga é realizada pela alteração do ângulo de disparo (α) entre valores de 0° a 180° . Portanto, ajusta-se a potência aplicada a carga de acordo com as necessidades ou desejos do consumidor.

Tem-se, para essa técnica a relação de potências expressa pela equação 12.

$$P_2(\alpha) = P_1 \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha) \right) \right] \quad (12)$$

Onde P_1 representa a potência nominal do chuveiro, P_2 a nova potência da carga após a aplicação da técnica descrita e α o ângulo de disparo.

A Figura 13 apresenta a variação da potência na carga em relação ao ajuste do ângulo de disparo. A potência entregue à carga é a máxima nominal do chuveiro quando $\alpha=0^\circ$ e é nula quando $\alpha=180^\circ$.

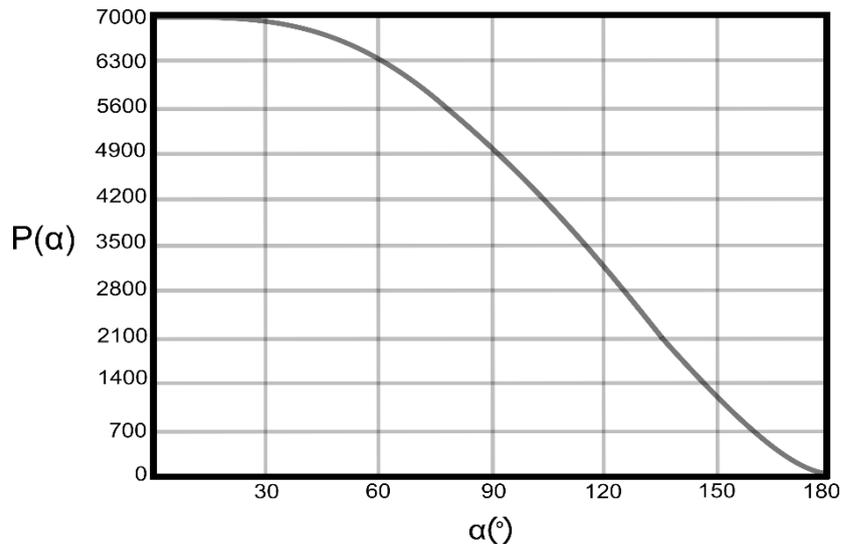


Figura 13 - Potência média na carga em função do ângulo de disparo.
Fonte: Adaptado de Eichelberger et. al (2008).

Entretanto, essa técnica apresenta alguns inconvenientes como exposto em Barbi (2006), além de introduzir harmônicas na rede de alimentação, para valores elevados de operação atuam com fator de potência muito baixo. Explica-se ainda que para trabalhar em aquecimento resistivo, tende-se pelo controle por Ciclos Inteiros.

No controle por Ciclos Inteiros é possível aplicar ciclos completos de tensão na carga ou, se desejar, ciclos completos de extinção alternando a potência média entregue à carga (AHMED, 2000). A dedução da potência entregue à carga pode ser encontrada em Barbi (2006) e pode ser visualizada pela equação 13.

$$P_2 = \left(\frac{m}{M}\right) P_1 \quad (13)$$

Considerando m o número de ciclos aplicados à carga durante um intervalo de tempo T_1 e M o número de ciclos da rede durante o intervalo de tempo T , em que a relação de m/M pode ser dada através de T_1/T . P_1 a potência nominal do chuveiro elétrico e P_2 a nova potência entregue ao chuveiro após a aplicação da técnica descrita.

Para Gili et. al (2012), “a grande vantagem do controle por ciclos inteiros é a não existência de distorção harmônica na corrente de carga e o fator de potência torna-se unitário sempre, assim, a característica linear da carga fica mantida mesmo utilizando-se o gradador”. Portanto, a técnica do Controlador de Tensão por Ciclos Inteiros pode representar uma melhor opção se comparada ao controle por Ângulo de

Fase. A potência fornecida à carga então pode ser ajustada de acordo com a necessidade, garantindo uma melhor aceitação do consumidor. Por fim, a instalação é realizada no próprio chuveiro apresentando um bom desempenho.

4.1.8 Controlador de Tensão de Corrente Alternada e Relé Horário

Nesta medida o controlador de tensão tanto por ciclos inteiros como por ângulo de fase teria a função de controlar o quanto de potência a ser utilizada pelo chuveiro, e o relé horário seria responsável por acionar o gradador somente nos horários de ponta do sistema.

Portanto a relação de potência do chuveiro elétrico obtida para cada controlador de tensão alternada no horário de ponta seria a deduzida na seção 4.1.7. E no restante do dia, horário fora de ponta, o chuveiro atuaria com sua potência nominal.

Essa medida tem um grau elevado de eficiência pois, do contrário de algumas medidas anteriores onde a potência do chuveiro é reduzida durante todo o dia, ela atuaria somente no horário de ponta, trazendo um maior conforto para o consumidor. O qual teria a opção de ter um banho normal fora do horário de ponta e morno durante a ponta do sistema, neste caso o nível de aceitação do consumidor seria maior, e a distribuidora teria uma redução significativa do consumo na ponta.

4.1.9 Chuveiro de 220 V em rede de 127 V

No caso de se ligar uma chuveiro de 220 V em um rede 127 V tem-se a potência dissipada reduzida para cerca de 1/3 da potência nominal. Este valor é obtido através da relação entre os quadrados das tensões anterior (P_1) e atual (P_2), pois:

$$P_{\text{dissipada}} = \frac{V^2}{R} \quad (14)$$

Logo obtém-se a seguinte relação:

$$P_2 = \frac{1}{3} P_1 \quad (15)$$

Para esta medida a potência do chuveiro seria reduzida de três vezes, resultando em um aquecimento de água morno para o banho em todo período do dia. Portanto, do ponto de vista do conforto do consumidor durante o banho não seria uma medida muito eficiente, porém para a distribuidora se adotada, teria uma redução de demanda significativa.

4.1.10 Seccionamento do terminal intermediário da resistência do chuveiro

Neste caso, a resistência do chuveiro para máxima potência seria rompida, ou seja, a opção inverno seria descartada. Utilizando-se no caso apenas a metade da potência nominal do chuveiro, esta medida teria praticamente o mesmo efeito da anterior, apenas obtendo-se uma redução de potência menor de utilização do chuveiro. Na Figura 14 abaixo consta um esquema elétrico de um chuveiro comum, o propósito dessa técnica seria o chuveiro ser preparado para comercialização com a opção de fábrica para romper a ligação inverno do chuveiro e o consumidor seria o responsável por optar ou não em rompê-la.

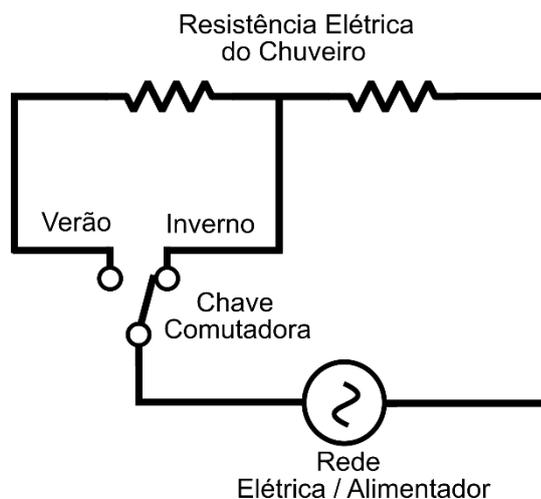


Figura 14 - Diagrama Elétrico de um Chuveiro Comum.
 Fonte: Adaptado de Mizani e Souza (2013).

Como pode-se ver pela Figura 14 a relação de resistências da opção de aquecimento verão e inverno respectivamente é de 2 para 1. O que nos daria a

seguinte relação de potências no caso de romper o seccionamento intermediário do chuveiro.

$$P_2 = \frac{1}{2} P_1 \quad (16)$$

Novamente, não seria uma medida totalmente eficiente, teria um nível de aceitação baixo, pois o aquecimento de água seria somente metade em todos os horários, ponta e fora de ponta. Contudo, se aceita, teria um grande efeito no fator de carga, pois a potência utilizada nos chuveiros seria reduzida pela metade.

4.1.11 Disjuntor Subdimensionado

A ideia de se utilizar um disjuntor subdimensionado seria não dimensioná-lo para atender a potência nominal dos equipamentos, mas sim para uma potência menor. Sabe-se que o chuveiro como visto na Figura 14 geralmente possui duas posições de aquecimento de água, verão e inverno, no caso dimensionar-se-ia o disjuntor para atender a potência correspondente ao verão, essa seria a potência máxima que o chuveiro alcançaria. No caso de se usar a potência máxima o disjuntor iria seccionar o circuito de alimentação do chuveiro.

A resistência para o verão como visto anteriormente supõe-se que equivale ao dobro da utilizada na posição inverno, logo teríamos a mesma relação de potência da equação 16.

$$P_2 = \frac{1}{2} P_1 \quad (17)$$

A nova potência do chuveiro traria uma diminuição significativa na demanda de energia para este equipamento, caindo pela metade. Contudo, essa medida não leva em consideração o conforto do consumidor em seu banho, ele teria de utilizar o chuveiro elétrico sempre no morno, levando à um nível de aceitação baixo por parte do próprio.

4.1.12 Disjuntor Subdimensionado e Relé Horário

O propósito de se utilizar o disjuntor subdimensionado em conjunto com o relé horário, seria a atuação do dispositivo somente nos horários especificados como no caso o horário de ponta noturno do sistema. A ideia seria montar um circuito composto pelo disjuntor normal, o disjuntor subdimensionado e o relé horário, de modo que o subdimensionado atuasse somente no horário de ponta do sistema e no restante do dia o disjuntor normal quem atuaria.

Neste caso, no horário de ponta a potência atingida pelo chuveiro seria somente a metade da nominal, como deduzido na 4.1.11, e no que compreende ao restante do dia o chuveiro atuaria com potência nominal, conforme ajustado pelo consumidor.

A técnica mostra-se eficiente, pois o consumidor usaria o chuveiro normalmente, tendo porém uma redução no potência utilizada nos horários de ponta do sistema. Pelo fato de trazer melhor conforto para o consumidor traria um nível maior de aceitação, e para a concessionária reduziria pela metade o consumo do chuveiro elétrico no horário em que a demanda é maior.

4.1.13 Aquecedor Solar

Essa aplicação consiste em substituir o chuveiro elétrico por aquecedores solares. O sistema de aquecimento compreende basicamente um conjunto composto por coletores solares e reservatório térmico (também nomeado por *boiler*) para o armazenamento da água quente (SIQUEIRA, 2009). O aquecimento de água através da energia solar é um tanto vantajoso pois o Brasil tem um histórico promissor de irradiação solar, porém, para se implantar tal medida, deve se levar em conta os dias nublados e também os períodos do ano em que há menor irradiação solar, onde no caso deve ser utilizado de um sistema secundário para o aquecimento de água, como por exemplo o chuveiro elétrico ou um sistema de aquecimento a gás.

Uma das barreiras para implantação de um sistema com aquecedores é o custo associado ao equipamento, Rispoli (2001) comenta: “Sabe-se que, por mais baixo que seja o custo de um aquecedor solar, o seu preço será maior do que o do

chuveiro elétrico, por tratar-se de sistema de acumulação de água quente composto por um reservatório térmico, coletores, tubulações, conexões e misturadores de água apropriados para resistirem a temperaturas maiores do que a do ambiente”. Ou seja, a comunidade de baixa renda não teria condições de ter acesso a este sistema convencional, por este motivo devem ser implantadas as propostas do aquecedor solar de baixo custo (ASBC).

A Companhia Paulista de Força e Luz foi quem deu início aos estudos dos ASBC em 1989, criando um aquecedor com baixo investimento inicial, visando tornar o equipamento mais acessível a toda comunidade. Existem já projetos pilotos implantados por algumas distribuidoras de energia elétrica direcionados a avaliar a eficiência desses equipamentos, como o projeto Popsol, avaliado para 10 residências; o da CEMIG, desenvolvendo a construção de ASBC com materiais simples; na Ilha do Mel, implantados 203 aquecedores pela COPEL, dentre outros (OLIVA, 1999).

De acordo com o PNEf no ano de 2009 o número de residências com aquecedores solares era de cerca de 1,8% dos domicílios, e somente com essa porcentagem a energia elétrica retirada do horário de ponta do sistema correspondia a 597MW tendo uma economia anual de 920 GWh. O Brasil já possui algumas ações de disseminação do uso de aquecedores solares como: o Dasol, que promove a capacitação dos diferentes profissionais envolvidos na área; o Qualisol que qualifica os fornecedores e profissionais para maior qualidade dos produtos oferecidos; o Normasol que revisa e elabora normas quando a ensaios, especificações e dimensionamento e instalação dos aquecedores; o PBE que define a qualidade e níveis de eficiência do produto; Cidades Solares que leva o conhecimento e divulgações de ações sociais quanto ao uso do sistema solar; e algumas legislações que incentivam o aquecimento solar (MME, 2011).

Para Siqueira (2009): “o aumento na utilização de aquecedores solares pode incorporar vantagens para as distribuidoras de energia elétrica, como a diminuição da inadimplência e o pagamento de impostos sobre a energia fornecida e não recebida de consumidores de baixa renda, a melhoria da qualidade do serviço, a melhoria da imagem das empresas e o deslocamento de carga do pico de demanda.”

Segundo Rísoli (2008): “a vantagem em proliferar os aquecedores solares em grande quantidade, fica por conta da remoção da carga concentrada do uso do chuveiro elétrico no horário de pico e conseqüentemente todos seus custos de infraestrutura necessários entre a geração e transmissão da energia elétrica”. Ou seja, a

implantação desta técnica se mostra bem vantajosa, pois além de se utilizar de energia limpa para aquecimento de água, colabora para a redução da demanda de energia do chuveiro elétrico nos horários de ponta, trazendo uma economia maior na fatura de energia elétrica do consumidor e conseqüentemente um retorno rápido do investimento inicial.

4.2 TÉCNICAS DE CONTROLE INDIRETO DE CARGA

4.2.1 Modalidade Tarifária

No Brasil desde janeiro de 2018 entrou em vigor a tarifa branca, essa tarifa foi criada exclusivamente para os consumidores de baixa tensão: setor residencial, comercial e industrial de pequeno porte. Ela visa um valor para a tarifa de energia elétrica menor que a convencional, para tanto o consumidor deve alterar seus hábitos de uso de energia nos horários de ponta e intermediários do sistema.

A tarifa branca constitui-se de três classificações horárias, sendo elas o horário de ponta do sistema, o fora de ponta e o intermediário. O horário de ponta é definido por cada distribuidora de energia elétrica com base na curva de carga do sistema elétrico, compreendido por 3 horas consecutivas onde a carga do sistema é elevada, geralmente sendo entre as 18h e 21h. O horário intermediário abrange uma hora antes e uma após a ponta. E o fora de ponta seriam as demais horas do dia (ANEEL, 2017b). O preço da tarifa de energia para esta modalidade pode ser ilustrado pela Figura 15 abaixo.

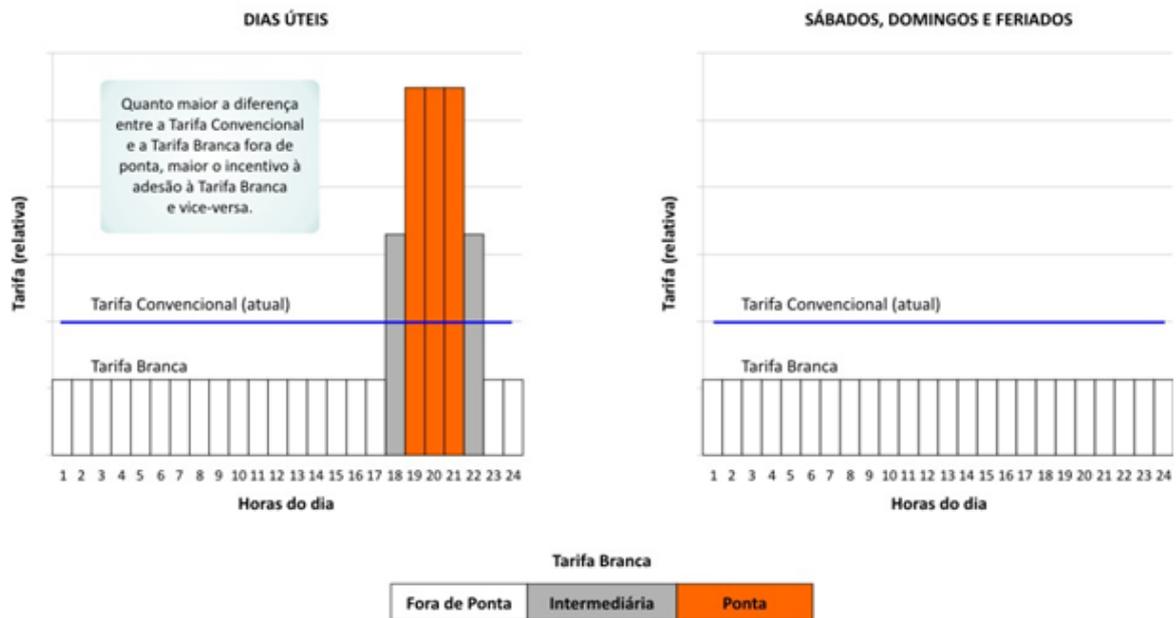


Figura 15 - Comparação entre os valores das tarifas branca e convencional.
Fonte: Abradee (2018).

A Resolução Normativa nº 733/2016, rege que as primeiras solicitações podem ser feitas a partir de Janeiro de 2018 por consumidores com uma média anual de 500 kWh mensais, e em até 12 meses a partir desta data inicial os consumidores com média de 250 kWh e 24 meses para os demais consumidores (ANEEL, 2016a).

Esta tarifa deve ser adotada por consumidores que tem a disponibilidade de alterar o padrão de consumo da energia elétrica para horários fora de ponta, trazendo uma tarifa menor e viabilizando uma economia de energia na fatura do próprio consumidor, sendo os outros horários regidos por uma tarifa maior. Além disso gera um deslocamento na demanda de energia pra horários fora de ponta, trazendo benefícios para o sistema elétrico e adiando possíveis investimentos.

4.2.2 Propaganda e Marketing

O processo de propaganda e marketing é muito importante para a divulgação dos programas de gerenciamento pelo lado da demanda, é desta maneira que o consumidor passa a ter conhecimento de tais estratégias e dos benefícios oferecidos em sua adesão.

Para Pompermayer (2000): “O desempenho de um programa ou medida de GLD depende muito das estratégias de marketing adotadas. De um modo geral, os

consumidores não estão familiarizados com esse tipo de ação (GLD), demonstram pouco interesse e falta de confiança, dentre outros fatores que inibem a sua adesão ao programa”.

4.2.3 Informação e Educação

De acordo com o PNEf: “Estudos realizados pela OLADE (*Organizacion Latinoamericana para El Desarrollo*) mostram que cidadãos informados e sensibilizados para a necessidade de usar a energia de forma racional e eficiente, tendem a economizar 10% a 15%, quando comparados àqueles que não estão atentos para esta questão” (MME, 2011).

No Brasil os principais programas responsáveis por informação e educação sobre o consumo eficiente da energia elétrica são o Procel e o PBE.

Segundo Procel (2015), o programa se subdivide em diversos programas, contudo os que maior abrangem o setor residencial são:

- Procel Educação – Tem como propósito principal levar conhecimento e investimentos, no quesito de se usar a energia de forma racional. O programa abrange todos os meios formais em todos os níveis de educação partindo de escola até universidade.
- Procel Info – também conhecido por Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, é o nome dado ao portal do Procel, neste portal pode-se ter acesso a todo tipo de informação referente a eficiência energética. Principalmente sendo divulgadas informações sobre os programas realizados, resultados obtidos através de suas aplicações, dados de pesquisa e simuladores, dentre outros.
- Procel Selo – tem a função de indicar a eficiência de um determinado eletrodoméstico ou equipamento, identificando quais atingem melhores níveis. Estes resultados auxiliam o consumidor na hora de escolher um equipamento que consome menos, auxiliando também o PBE na etiquetagem de qualidade. Somente em 2014, foram vendidos mais de 59 milhões de equipamentos identificados com o Selo tendo como resultado uma economia de 10,266 bilhões de kWh anuais e redução de 4.009 MW na demanda utilizada em horários de ponta do sistema.

No que cabe aos programas Procel e Conpet, o PNEF, define diretrizes quanto a abordagem de disciplinas de eficiência energética para a educação básica bem como na formação profissional (níveis técnicos e superiores) e a atuação em laboratórios e centros de pesquisa voltados a eficiência energética (MME, 2011).

5 RESULTADOS

5.1 ESTUDO DE CASO

De modo a analisar a efetividade da aplicação das técnicas abordadas no capítulo 4, um estudo de caso foi realizado para uma concessionária da região Sul situada na cidade de Coronel Vivida-PR. Foram selecionadas três das técnicas para redução do uso do chuveiro elétrico nos horários de ponta do sistema, cujos desempenhos trariam maiores impactos para concessionária e maior nível de aceitação por parte do consumidor.

Para esta análise a concessionária forneceu dados sobre consumidores, relação de consumo e curva de carga horária típica para da concessionária. Os dados quanto a consumidores e relação de consumo referem-se ao ano 2010 e podem ser visualizados no Gráfico 7 e 8.

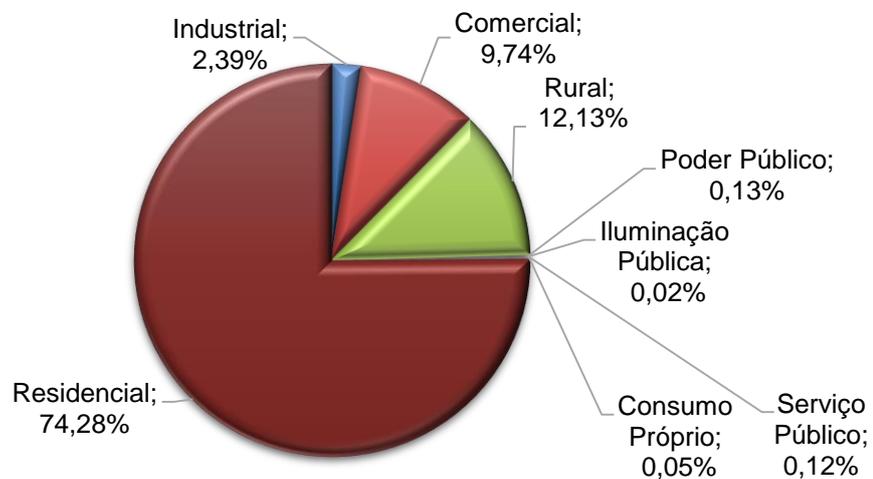


Gráfico 7 – Consumidores atendidos pela concessionária em 2010.
Fonte: Autoria Própria.

Como mostrado no Gráfico 7, a maior parcela (74,28%) do universo atendido pela concessionária era representada pelos consumidores residenciais seguida pelos consumidores rurais com 12,13%, comerciais com 9,74% e industriais com 2,39%. A população da cidade Coronel Vivida-PR em 2010 era de 21.749 pessoas, agrupadas em 6947 domicílios (IBGE, 2018).

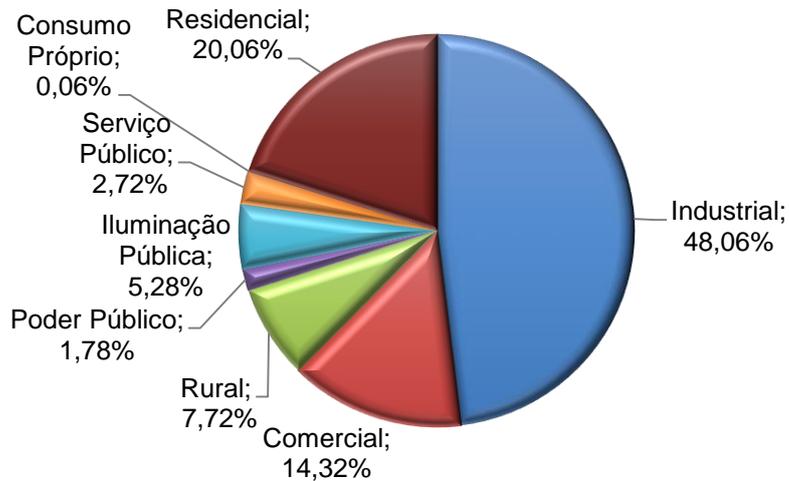


Gráfico 8 - Relação de consumo por tipo de consumidor.
Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 8 mostra o setor residencial como o segundo maior consumidor atendido pela concessionária na região, ocupando 20,06% atrás somente do setor industrial com 48,06%.

A Figura 16 representa a curva de carga horária média da concessionária.

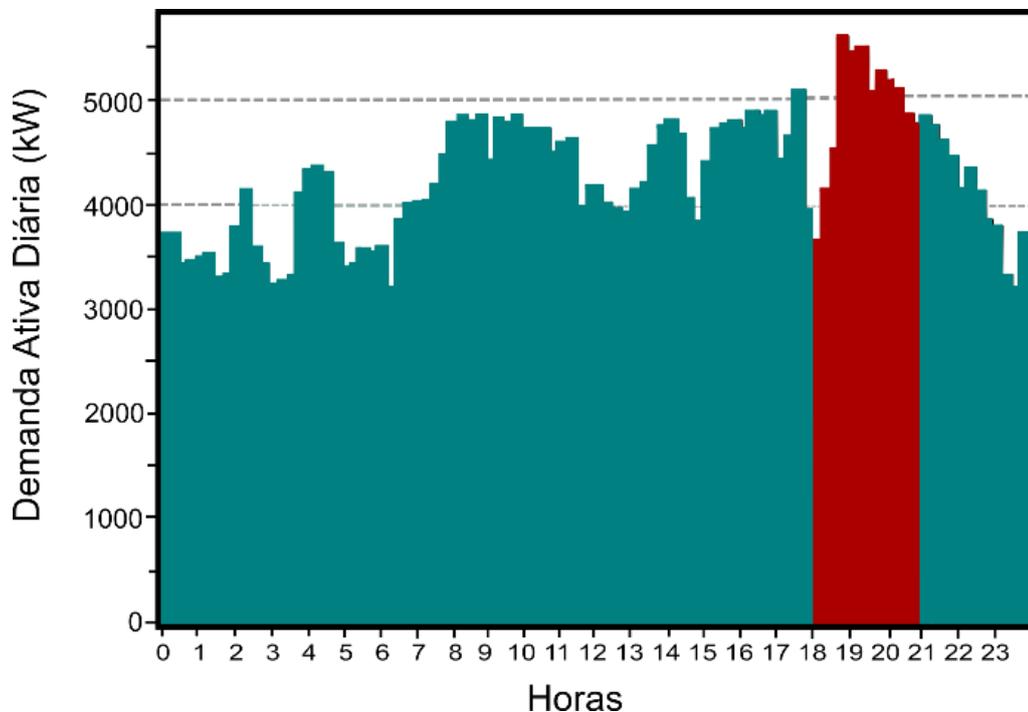


Figura 16 - Curva de carga horária média da concessionária.
Fonte: Autoria Própria.

Através da curva de carga da concessionária é possível de se visualizar o pico de demanda noturno, como nas análises no decorrer do trabalho correspondente

em grande parte pelo setor residencial. O horário de ponta da concessionária está destacado em vermelho, entre às 18 e 21 horas da noite, tendo seu maior ápice as 19 horas com cerca de 5500 kW.

Para analisar a aplicabilidade das técnicas foi estimada uma média de 3 pessoas por residência totalizando em 6947 domicílios atendidos, com uma média de um chuveiro por residência de potência nominal de 4600 W. As técnicas escolhidas para análise foram: Diodo Retificador Meia Onda e Relé Horário abordado na seção 4.1.4, Controlador de Tensão de Corrente Alternada por Ciclos Inteiros e Relé Horário visto na seção 4.1.8 e Disjuntor Subdimensionado e Relé Horário discutido na seção 4.1.12.

Para a escolha dessas técnicas foram levados em consideração o nível de aceitação dos consumidores, redução da potência nominal do chuveiro elétrico e a inserção de harmônicas do circuito na rede. Quanto ao nível de aceitação, optou-se pelas técnicas que permitissem um banho morno no horário de ponta, ou seja, que reduzissem pela metade a potência nominal do chuveiro e no restante do dia permitissem seu uso normal de forma a permitir maior conforto para o consumidor.

O cálculo para Redução da Demanda na Ponta para cada técnica escolhida foi realizado a partir da equação 4. Considerando número de residências atendidas (NR) de 6947 domicílios, um fator de diversidade do uso do chuveiro (FD) de 0,1 como sugerido na seção 2.2, e uma média de um chuveiro por residência (NC). Os resultados podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da Redução de Demanda na Ponta para a Concessionária.

	Técnica	Redução da Potência Nominal do Chuveiro (%)	Potência do chuveiro com a aplicação das técnicas (W)	Redução da Demanda na Ponta (kW)
Retificador Meia Onda a Diodo e Relé Horário	1	50,0%	2300	1597,81
Controlador de Tensão de Corrente Alternada por Ciclos Inteiros e Relé Horário	2	40,0%	2760	1278,25
	3	56,5%	2000	1806,22
	4	66,7%	1533	2130,65
Disjuntor subdimensionado e Relé Horário	5	50,0%	2300	1597,81

Fonte: Autoria Própria.

Os Gráficos 9 e 10 abaixo mostram a curva de carga horária diária da concessionária com e sem a redução da demanda na ponta pela aplicação das técnicas. O primeiro mostra a curva diária da concessionária e as reduções, e o segundo gráfico mostra a curva somente o horário de ponta para uma melhor visualização dos resultados calculados acima.

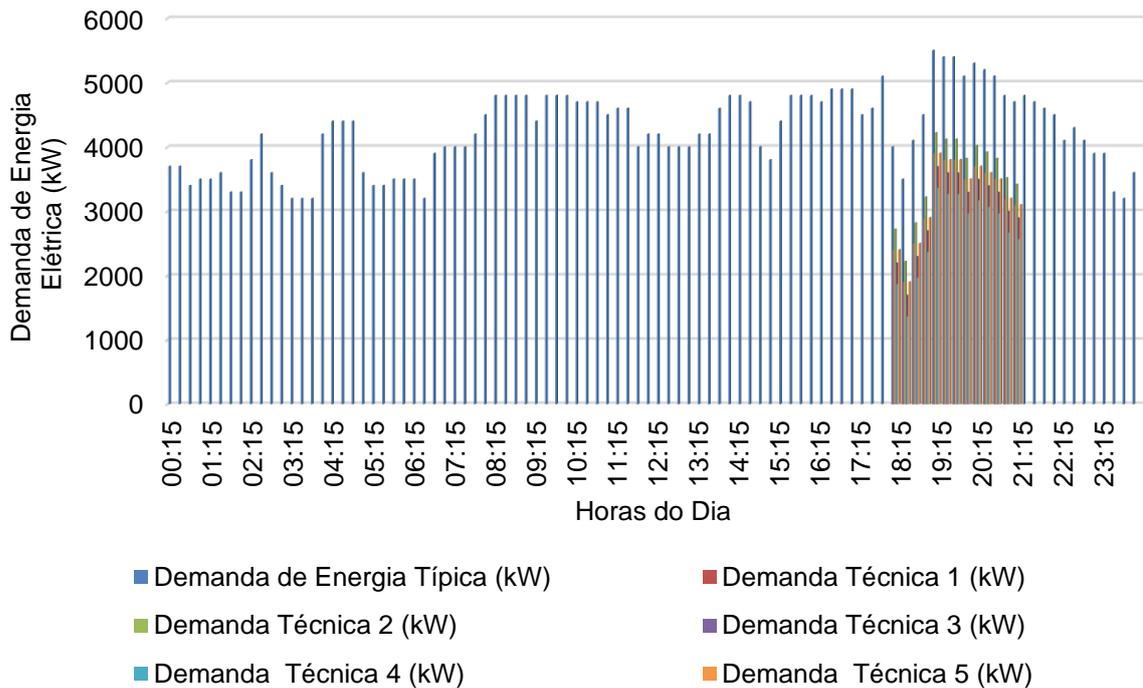


Gráfico 9 - Curva de Carga Diária da Concessionária com a Redução da Demanda na Ponta.
 Fonte: Autoria Própria.

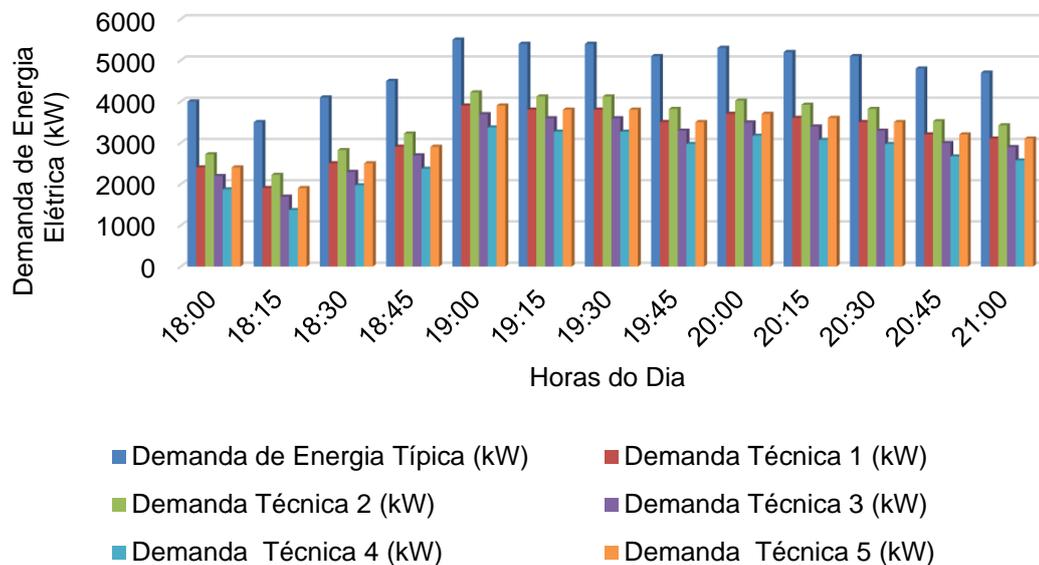


Gráfico 10 - Curva de Carga da Redução da Demanda na Ponta da Concessionária.
 Fonte: Autoria Própria.

Considerando a demanda máxima na ponta de 5500 kW e os valores obtidos para RDP na Tabela 2, calculou-se o potencial de redução da demanda máxima no horário de ponta para as técnicas escolhidas por meio da equação 18. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

$$PR = \left[1 - \left(\frac{D_{\text{máx}} - \text{RDP}}{D_{\text{máx}}} \right) \right] \cdot 100\% \quad (18)$$

Onde:

PR = Potencial de redução;

$D_{\text{máx}}$ = Demanda máxima na ponta.

Na Tabela 3 também encontram-se o fator de carga calculado para a condição atual da concessionária e o novo fator de carga após a implantação das técnicas escolhidas. Para o cálculo do novo fator de carga foram consideradas a redução da demanda na ponta calculadas anteriormente (Tabela 2), cálculos esses realizados a partir da equação 1 e dos dados da Tabela 4 do Apêndice A.

Tabela 3 – Resultados do Potencial de Redução e Fatores de Carga para a Concessionária.

	Técnica	Potencial de Redução	FC _{atual}	FC _{novo}
Retificador Meia Onda a Diodo e Relé Horário	1	29,05%	0,77	0,79
Controlador de Tensão de Corrente Alternada por Ciclos Inteiros e Relé Horário	2	23,24%	0,77	0,80
	3	32,84%	0,77	0,79
	4	38,74%	0,77	0,78
Disjuntor subdimensionado e Relé Horário	5	29,05%	0,77	0,79

Fonte: Autoria Própria.

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dispostos nas Tabelas 2 e 3, refletem que para as técnicas avaliadas o percentual de corte de demanda máxima na ponta pode ser de 23,24%,

29,05%, 32,84% ou 38,74%. Ou seja, as técnicas propostas são capazes de reduzir boa parcela dos picos de demanda do horário de ponta (Gráficos 9 e 10) ao alterar o comportamento dos seus consumidores, limitando a potência dos chuveiros na ponta ou os fazendo deslocar o uso do chuveiro para outro horário do dia.

Ainda, Rahate e Kinhekar (2017) e Majid et. al (2006) se referem ao aumento da confiabilidade do sistema que a ferramenta GLD proporciona. Aspecto que pode ser visualizado no estudo de caso realizado: ao verificar as técnicas propostas se percebeu uma redução da demanda máxima para até 5100 kW conforme dados do Apêndice A, aliviando o sistema durante o horário de ponta e distribuindo as cargas de maneira mais regular.

As reduções dos picos de demanda na ponta impactam também no fator de carga da concessionária. Investiga-se esse valor a partir da ideia exposta por Panesi (2006), na qual índices baixos para o fator de carga representam uma centralização de consumo em um período de tempo específico e índices altos se referem a uma regularidade de consumo.

Para o estudo de caso realizado encontrou-se o fator de carga atual da concessionária com valor de 0,77. Analisando-se a Curva de Carga da Figura 16, percebe-se picos de demanda que se agrupam entre às 19h e 20h30. Ou seja, ocorre uma concentração de consumo em um curto período de tempo, demonstrando o fator de carga baixo da concessionária.

Na implementação das técnicas, os picos noturnos seriam ceifados e, como consequência as demandas durante todo o dia possuiriam menores variações de magnitude. Portanto, como esperado, obteve-se um aumento do fator de carga variando de 0,78 a 0,80 (Tabela 3) representando um incremento de 1,3% a 4,0% em relação ao FC atual da concessionária. O fator de carga novo não obteve grandes aumentos em seu índice devido ao fato de que a demanda máxima da concessionária agora ocorre em um horário complementar ao horário de ponta, que não está sendo controlado pelas técnicas.

O fator de carga novo não apresentou grandes variações entre as técnicas escolhidas, isso se deve a uma similaridade dos graus de redução de demanda apresentada por cada processo conforme mostrado na Tabela 2. Portanto pode-se perceber, que a implementação das técnicas proporcionaria um alívio do sistema no horário de ponta gerando diminuição de investimentos em reforços ou melhorias na rede.

6 CONCLUSÃO

O Gerenciamento pelo Lado da Demanda se apresenta como uma solução para um uso mais racional e eficiente de energia, promovendo a conservação e melhoria da qualidade da energia elétrica fornecida através de ações que sensibilizem com o consumidor. Para a concessionária, essa ferramenta se reflete como um importante fator capaz de auxiliar no seu planejamento estratégico.

O fator de carga de um sistema de energia elétrica é muito importante para demonstrar se a energia elétrica está sendo utilizada de maneira eficiente por parte do consumidor. Um baixo fator de carga mostra que a energia não está sendo utilizada em sua maneira mais eficiente trazendo maiores investimentos em reforços na rede de energia elétrica. E um aumento neste índice implica em diversas vantagens para o sistema, dentre elas: otimização do investimento da instalação, aumento da vida útil da instalação e dos equipamentos, além de uma redução nos horários de pico do sistema e redução no preço médio da energia elétrica, acarretando em vantagens tanto para o consumidor quanto para a distribuidora de energia.

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar técnicas de controle direto de carga para restringir o uso do chuveiro elétrico no horário de ponta, visando aumentar o fator de carga das distribuidoras de energia elétrica de pequeno porte da região Sul do país. E também, como possível projeto e pesquisa em eficiência energética dentro dos parâmetros da Lei 9.991 de 2000 para as distribuidoras de energia elétrica.

A importância do estudo foi defendida no decorrer do trabalho demonstrando a problemática do assunto. Um dos fatores que levaram a análise do setor residencial foi a grande abrangência no número de consumidores e do consumo de energia elétrica do país. Outro fator importante foi a busca pela redução do consumo de energia elétrica nos horários de ponta noturnos das distribuidoras, que como analisado coincide com o horário de pico noturno típico do Sistema Interligado Nacional (SIN), causando um grande carregamento do sistema.

Foram examinadas quinze técnicas para diminuição da potência consumida pelo chuveiro elétrico: relé horário, operação 220 V em rede 127 V, seccionamento do terminal intermediário da resistência, temporizador, aquecedor solar, disjuntor subdimensionado, retificador meia onda a diodo e a SCR, controlador

de tensão de corrente alternada e a combinação destes com relé horário. Entre as técnicas analisadas, escolheram-se três de acordo com a aceitação dos consumidores, capacidade de redução da potência nominal do chuveiro e inserção de harmônicas na rede para um estudo de caso em uma concessionária da região Sul.

O estudo de caso revelou que as técnicas avaliadas são capazes de reduzir uma parcela dos picos de demanda do horário de ponta ao alterar o padrão de uso de energia dos seus consumidores, limitando a potência consumida pelos chuveiros nesse horário. Para tanto analisou-se que a técnica de Controlador de Tensão de Corrente Alternada por Ciclos Inteiros traz benefícios tanto para o consumidor quanto para a concessionária, por apresentar uma ampla faixa de ajustes de redução da potência nominal do chuveiro, acarretando em um maior nível de aceitação por parte do consumidor.

Como resposta à redução de demanda na ponta, também obteve-se resultados no Fator de Carga da concessionária. Como os picos noturnos seriam diminuídos, as demandas durante o dia possuiriam menores variações de magnitude entre si e, assim, descentralizariam o consumo consequentemente aumentando o Fator de Carga da concessionária em relação ao valor atual.

No decorrer do trabalho foram encontradas dificuldades em encontrar curvas de carga mais atuais que demonstrem a contribuição do consumo de cada eletrodoméstico no setor residencial. Do mesmo modo, houve um contratempo na coleta de dados da distribuidora para o estudo de caso em questão, onde a disponibilidade de dados mais atuais era limitada.

Como sugestão para trabalhos futuros uma análise de técnicas para controle de carga de condicionadores de ambiente pode ser feita abrangendo seu impacto para o pico diurno do SIN no verão. Também sugere-se uma pesquisa de campo para avaliar o padrão de consumo no setor residencial seguido de uma análise de custos para implantação das técnicas encontradas, avaliando seu custo-benefício.

Assim sendo, conclui-se que as medidas para controle de carga diretas e indiretas podem ser melhor avaliadas pelas distribuidoras de energia elétrica como projetos para aplicar o valor correspondente a 0,5% de sua receita líquida destinados a programas de eficiência energética. Também mostrando-se eficazes no aumento do fator de carga das distribuidoras, acarretando em postergação de possíveis investimentos para atender a demanda no horário de ponta, além do aumento da confiabilidade do sistema e da redução do desperdício de energia.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **Tarifas de Energia**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>>. Acesso em: 10 Ago. 2018.

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. São Paulo: Prentice Hall, 2000. 479 p. Tradução de: Bazán Tecnologia e Linguística e Eduardo Vernes Mack.

ALVAREZ, André L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares**. 1998. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ANDRADE, Fabrício V. **Projeções e avaliação do consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro a partir da técnica de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)***. 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

ANEEL. **Manual do Programa de Eficiência Energética**. Brasília: Aneel, 2008. 65 p. _____. Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010. Dispõe das condições gerais para o fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>>. Acesso em: 06 de Jun. de 2018.

_____. Revista de Eficiência Energética. Brasília: Junho, 2017a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/15495819/Revista+de+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+PEE+-+2017.pdf/ec81860f-4f80-f2d3-3692-1dc24f556e17?version=1.1>>. Acesso em: 15 Ago. 2018.

_____. **Tarifa Branca**. 2017b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

_____. Resolução normativa nº 733, de 06 de setembro de 2016a. Dispõe das condições para a aplicação da modalidade tarifária branca. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016733.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

_____. **Postos Tarifários**. 2016b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em: 12 Mar. 2018.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. 6. ed. Florianópolis: Edição do Autor, 2006. 328 p.

BRAGA, Nina B. **Gerenciamento pelo Lado Da Demanda em Áreas Residenciais**. 2014. 75 f. UFRJ – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, Fevereiro de 2014.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm>. Acesso em: 6 jul. 2018.

_____. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm>. Acesso em: 6 de jul. 2018.

BRECHT, Douglas Gherardt. **Estado da Arte Sobre Aquecimento de Água no Brasil**. 2016. 203 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CAMARGO, C.CELSO D.B. **Gerenciamento pelo lado da demanda: metodologia para identificação do potencial de conservação de energia elétrica de consumidores residenciais**. 1996. 209 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 1996.

CAMPOS, Alexandre. **Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CARDEMIL, Jose M., STARKE, Allan R., COLLE, Sergio. Multi-objective optimization for reducing the auxiliary electric energy peak in low cost solar domestic hot-water heating systems in Brazil. **Solar Energy** **163**. 2018. p 486–496. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X18300203>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

CARDOSO, Rafael B., NOGUEIRA, Luiz N. H. Estimativa do Consumo de Energia Elétrica em Refrigeradores no Setor Residencial Brasileiro. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 13, nº2, 2007.

CHIA, Ian M. C., CORREIA, Vitor T. **Interface De Gestão Ativa De Consumo De Energia Elétrica Para Smart-Grids**. 2011. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Modulação Dinâmica na CEMIG**. 2018. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/nossos_negocios/Paginas/modulacao_dinamica_cemig.aspx>. Acesso em: 27 ago. 2018.

CORTEZ, Victor H. N. **Gerenciamento pelo lado da demanda em sistemas elétricos industriais utilizando algoritmos genéticos**. 2017. 108 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

COSTA, Clécio. **Um estudo sobre adaptações para redução do consumo de energia elétrica em sistemas de ar condicionado.** 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

COSTA, Wadaed U. D.; COSTA, Antonio S.; LEITE, Gleisi S. Gerenciamento pelo Lado da Demanda via Fluxo de Potência Ótimo com Restrições Intertemporais. UFSC- Laboratório de Sistemas de Potência. Santa Catarina: [s.n.], [1990-2000]. Disponível em: < <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/pesquisa/pq-dsm.html>>. Acesso em: 19 Mar. 2018.

CUNHA, Murilo V. D. **Estratégias de Gerenciamento Pelo lado da Demanda aplicadas aos consumidores de BT considerando a tarifa branca e a Geração Distribuída.** 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

EICHELBERGER, Rhafael et al. Chuveiros Elétricos com Controle Eletrônico de Temperatura: Impactos no Sistema Elétrico. **XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica.** Olinda, 2008. Disponível em: < <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/Chuveiros-Ele%CC%81tricos-com-Controle-Eletr%CC%82nico-de-Temperatura-Impactos-no-Sistema-Ele%CC%81trico.pdf> >. Acesso em: 30 de jul. de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** Brasília: MME/EPE, 2017a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 01 Ago. de 2018.

_____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017.** [S.l]: [s.n.], 2017b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-16dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 12 Mar. 2018.

_____. **Nota técnica dea 01/15:** Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. 2015. Disponível em: < <http://www.ifba.edu.br/professores/armando/Eng531/Unid%20I/DEA%2001%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20no%20Hor%C3%A1rio%20de%20Ponta.pdf>>. Acesso em :12 Mar. 2018.

_____. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas) – 2004 a 2018.** 2018a. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas> >. Acesso em: 15 Ago. de 2018.

_____. **Resenha mensal do Mercado de Energia Elétrica:** Junho de 2018. 2018b. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-351/Resenha%20Mensal%20-%20Junho%202018_vf.pdf>.

_____. **Resenha mensal do Mercado de Energia Elétrica:** Fevereiro de 2014. 2014. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-157/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%20-%20Janeiro%202014.pdf>>.

_____. **Plano Nacional de Energia – 2050:** Demanda de Energia. 2016a. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. de 2018.

_____. **Nota Técnica DEA 12/16:** Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2015-2024). 2016b. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: < [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-264/DEA%2012-16%20-%20Ef%20energetica%202015-2024\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-264/DEA%2012-16%20-%20Ef%20energetica%202015-2024[1].pdf)>. Acesso: 13 de ago. 2018.

ENEL. **Medição Horária.** Disponível em: <<http://www.cidadeinteligentebuzios.com.br/medicaoohoraria/>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

FILHO, João M. **Instalações Elétricas Industriais.** 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

GELLINGS, Clark W. The concept of demand-side management for electric utilities. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 10, p 1468-1470, 1985.

GILLI, Luiz Carlos et al. **Chuveiros Eletrônicos: Conhecer Para Ter Consciência. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia.** Belém, 2012. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/7/artigos/104252.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

GONÇALVES, Guilherme, FEDRIGO, Natália Sens, FIGUEIREDO, Lucas Paulo. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** Florianópolis, 2009. 94 p.

HART, Daniel W. **Power Electronics.** Nova Iorque: Mcgraw-Hill, 2011. 477 p.

INMETRO. O Programa Brasileiro de Etiquetagem. 2018. Disponível em: <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em: 06 de Jun. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009:** Indicadores Seleccionados. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv61273.pdf>>. Acesso em: 23 de jul. 2018.

_____. **Brasil em Síntese - Paraná - Coronel Vivida.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/coronel-vivida/panorama>>. Acesso em: 26 set. 2018.

MAJID, M. S., RAHMAN, H. A., HASSAN, M. Y, OOI, C. A. Demand side management using direct load control for residential. **4th Student Conference on Research and Development**, IEEE, Malásia, p.1, 2006.

MARTINS, Rodrigo dos Santos. **Aquecimento de Água Usando Ciclos Inteiros.** 2009. 91 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

MATAJS, Roberto Ramos. **Demanda, Consumo e Custo das alternativas ao chuveiro elétrico: O exemplo do Estado de São Paulo.** 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MELO, Conrado A. de, JANNUZZI, Gilberto de M. O estoque de refrigeradores no Brasil: diferenças e semelhanças regionais por faixas de renda. **Espaço Energia**, nº8, abr. 2008. Disponível em: < <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/8/008-02.pdf>>. Acesso em: 15 de ago. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência Energética.** 2007. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>>. Acesso: 13 de ago. 2018.

_____. **Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas.** 2011. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863>>. Acesso em: 23 de jul. 2018.

MIZANI, Aurélio C.; SOUZA, Lucas C.E.D. **Solução Automatizada para Aumento da Eficiência Energética e Redução do Custo Energético em Condomínios Residenciais.** 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2013.

OLIVA, George A. Utilização de aquecedores solares de baixo custo em Programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD). **XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, Foz do Iguaçu, Outubro 1999. Disponível em: < <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2015/12/UTILIZA%C3%87%C3%83O-DE-AQUECEDORES-SOLARES-DE-BAIXO-CUSTO-EM-PROGRAMAS-DE-GERENCIAMENTO-PELO-LADO-DA-DEMANDA-GLD.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

PANESI, André R.Q. **Fundamentos da Eficiência Energética** – Industrial, Comercial e Residencial. São Paulo: Editora Ensino Profissional, 2006.

PEREIRA, Alexandre C. **Proposta de Conservação de Energia Elétrica Aplicada ao Campus de São Carlos – USP**. 1998. 146 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1998.

POMPERMAYER, Máximo L. **Gerenciamento da Demanda Residencial de Eletricidade: O caso de centros urbanos da Região Amazônica**. 2000. 315 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2000.

PORTOLANN, César A.; LAFAY, Jean-Marc S.; FERMIANI, Rodrigo M.; SILVA, Jederson D.; SLONGO, Bruno L. Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras Restringindo o Uso de Chuveiros Elétricos. **CIDEL – Argentina**, Argentina, 2010.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sobre o Procel: O Programa**. 2018a. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883-A273-4C47-A14E-0055586F97FC%7D>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

_____. **Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo: Curva de Carga**. 2018b. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/Sinpha/CurvaCarga.asp>. Acesso em: 24 jul. 2018.

_____. **Resultados Procel 2015: ano base 2014**. 2015. 74 f. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/>>. Acesso em: 10 Jun. 2018.

_____. **Relatório de resultados do Procel 2017: Ano base 2016**. [S.l]: [s.n], 2017. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

_____. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: Classe Residencial Relatório Sul**. [S.l]: [s.n], 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

_____. **Metodologia de realização de diagnóstico energético: Guia Básico**. [S.l]: Brasília: 2009. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 16 Mar. 2018.

RAAD, Antonio, MOREIRA, Marco A. R. G., JUNIOR, Ary V. P., SOUZA, Fabio C.D. O mercado de gerenciamento pelo lado da demanda no Brasil: Controladores de demanda e tarifas diferenciadas. **XVI SNTPEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 2001. Disponível em: <http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/02/O-MERCADO-DE-GERENCIAMENTO-PELO-LADO-DA-DEMANDA-NO-BRASIL_-CONTROLADORES-DE-DEMANDA-E-TARIFAS-DIFERENCIADAS.pdf>. Acesso em: 30 de Mai de 2018.

RAHATE, Nikhil D., KINHEKAR, Nandkishore. Demand Side Management for Household Equipment's. **International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control**, IEEE, p. 1, 2017.

REMPEL, Christian K, CAMPOS, Renato P. A. Redução de Consumo de Energia Através de Temporizador para Chuveiros Elétricos. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, nº1, vol. 8, mar. 2012.

RÍSPOLI, Ítalo A. G. **O aquecedor solar brasileiro – Teoria e prática em prol de uma transferência de tecnologia sustentável**. 2008. 245 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.

_____. **Estudo do aproveitamento da Energia Solar para aquecimento de água em edificações unifamiliares de baixa renda**. 2001. 258 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2001.

SIANO, Pierluigi. Demand responseandsmartgrids—A survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews 30 (2014)**, p. 461-478, 2014.

SIEMENS. **Dispositivos Modulares – Comando, manobra e medição**. 2012. 68 p. Disponível em:<<https://w3.siemens.com.br/topics/br/pt/EM/produtos-baixa-tensao/comando-manobra-medicao/Documents/Dispositivos-Modulares-2012-v2.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

SIQUEIRA, Débora A. **Estudo de Desempenho do Aquecedor Solar de Baixo Custo**. 2009. 143 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

TEIVE, R. C. G., VILVERT, S. H. Demand side management for residential consumers by using direct control on the loads. **Power System Management and Control**, IEEE, p.1, 2002.

THE RESULTS CENTER. **Florida Power Corporation, Residential Load Management Profile**. Disponível em: <<http://www.iiec.org/profiles-by-name?id=331>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

APÊNDICE A

A Tabela 4 apresenta a demanda diária para a concessionária analisada do capítulo 5 mostrando a demanda típica, as demandas novas para cada técnica considerada e a demanda média calculada para cada situação.

Tabela 4 - Dados de Demanda Diária da Concessionária, e após a implantação das técnicas escolhidas.

Horas do Dia	Demanda de Potência de 2010 (kW)	Demanda de Potência com RDP da Técnica 1 (kW)	Demanda de Potência com RDP da Técnica 2 (kW)	Demanda de Potência com RDP da Técnica 3 (kW)	Demanda de Potência com RDP da Técnica 4 (kW)	Demanda de Potência com RDP da Técnica 5 (kW)
00:15	3700	3700	3700	3700	3700	3700
00:30	3700	3700	3700	3700	3700	3700
00:45	3400	3400	3400	3400	3400	3400
01:00	3500	3500	3500	3500	3500	3500
01:15	3500	3500	3500	3500	3500	3500
01:30	3600	3600	3600	3600	3600	3600
01:45	3300	3300	3300	3300	3300	3300
02:00	3300	3300	3300	3300	3300	3300
02:15	3800	3800	3800	3800	3800	3800
02:30	4200	4200	4200	4200	4200	4200
02:45	3600	3600	3600	3600	3600	3600
03:00	3400	3400	3400	3400	3400	3400
03:15	3200	3200	3200	3200	3200	3200
03:30	3200	3200	3200	3200	3200	3200
03:45	3200	3200	3200	3200	3200	3200
04:00	4200	4200	4200	4200	4200	4200
04:15	4400	4400	4400	4400	4400	4400
04:30	4400	4400	4400	4400	4400	4400
04:45	4400	4400	4400	4400	4400	4400
05:00	3600	3600	3600	3600	3600	3600
05:15	3400	3400	3400	3400	3400	3400
05:30	3400	3400	3400	3400	3400	3400
05:45	3500	3500	3500	3500	3500	3500
06:00	3500	3500	3500	3500	3500	3500
06:15	3500	3500	3500	3500	3500	3500
06:30	3200	3200	3200	3200	3200	3200
06:45	3900	3900	3900	3900	3900	3900
07:00	4000	4000	4000	4000	4000	4000
07:15	4000	4000	4000	4000	4000	4000
07:30	4000	4000	4000	4000	4000	4000
07:45	4200	4200	4200	4200	4200	4200
08:00	4500	4500	4500	4500	4500	4500
08:15	4800	4800	4800	4800	4800	4800
08:30	4800	4800	4800	4800	4800	4800
08:45	4800	4800	4800	4800	4800	4800

09:00	4800	4800	4800	4800	4800	4800
09:15	4400	4400	4400	4400	4400	4400
09:30	4800	4800	4800	4800	4800	4800
09:45	4800	4800	4800	4800	4800	4800
10:00	4800	4800	4800	4800	4800	4800
10:15	4700	4700	4700	4700	4700	4700
10:30	4700	4700	4700	4700	4700	4700
10:45	4700	4700	4700	4700	4700	4700
11:00	4500	4500	4500	4500	4500	4500
11:15	4600	4600	4600	4600	4600	4600
11:30	4600	4600	4600	4600	4600	4600
11:45	4000	4000	4000	4000	4000	4000
12:00	4200	4200	4200	4200	4200	4200
12:15	4200	4200	4200	4200	4200	4200
12:30	4000	4000	4000	4000	4000	4000
12:45	4000	4000	4000	4000	4000	4000
13:00	4000	4000	4000	4000	4000	4000
13:15	4200	4200	4200	4200	4200	4200
13:30	4200	4200	4200	4200	4200	4200
13:45	4600	4600	4600	4600	4600	4600
14:00	4800	4800	4800	4800	4800	4800
14:15	4800	4800	4800	4800	4800	4800
14:30	4700	4700	4700	4700	4700	4700
14:45	4000	4000	4000	4000	4000	4000
15:00	3800	3800	3800	3800	3800	3800
15:15	4400	4400	4400	4400	4400	4400
15:30	4800	4800	4800	4800	4800	4800
15:45	4800	4800	4800	4800	4800	4800
16:00	4800	4800	4800	4800	4800	4800
16:15	4700	4700	4700	4700	4700	4700
16:30	4900	4900	4900	4900	4900	4900
16:45	4900	4900	4900	4900	4900	4900
17:00	4900	4900	4900	4900	4900	4900
17:15	4500	4500	4500	4500	4500	4500
17:30	4600	4600	4600	4600	4600	4600
17:45	5100	5100	5100	5100	5100	5100
18:00	4000	2402,19	2721,75	2193,78	1869,35	2402,19
18:15	3500	1902,19	2221,75	1693,78	1369,35	1902,19
18:30	4100	2502,19	2821,75	2293,78	1969,35	2502,19
18:45	4500	2902,19	3221,75	2693,78	2369,35	2902,19
19:00	5500	3902,19	4221,75	3693,78	3369,35	3902,19
19:15	5400	3802,19	4121,75	3593,78	3269,35	3802,19
19:30	5400	3802,19	4121,75	3593,78	3269,35	3802,19
19:45	5100	3502,19	3821,75	3293,78	2969,35	3502,19
20:00	5300	3702,19	4021,75	3493,78	3169,35	3702,19
20:15	5200	3602,19	3921,75	3393,78	3069,35	3602,19
20:30	5100	3502,19	3821,75	3293,78	2969,35	3502,19
20:45	4800	3202,19	3521,75	2993,78	2669,35	3202,19
21:00	4700	3102,19	3421,75	2893,78	2569,35	3102,19
21:15	4800	4800	4800	4800	4800	4800
21:30	4700	4700	4700	4700	4700	4700
21:45	4600	4600	4600	4600	4600	4600

22:00	4500	4500	4500	4500	4500	4500
22:15	4100	4100	4100	4100	4100	4100
22:30	4300	4300	4300	4300	4300	4300
22:45	4100	4100	4100	4100	4100	4100
23:00	3900	3900	3900	3900	3900	3900
23:15	3900	3900	3900	3900	3900	3900
23:30	3300	3300	3300	3300	3300	3300
23:45	3200	3200	3200	3200	3200	3200
23:59	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Demanda Média (kW)	4250,00	4033,63	4076,90	4005,41	3961,47	4033,63

ANEXO B - Consumo Total de energia elétrica na rede no Brasil em 2017 (MWh). * Atualização em 15/07/2018
Fonte: EPE (2018a).

	2017*												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
TOTAL BRASIL	39.284.124	38.622.238	40.454.875	39.249.069	38.084.686	37.926.253	37.301.894	37.733.807	38.848.600	39.269.030	39.718.847	39.476.291	465.969.713
REGIÃO GEOGRÁFICA													
Norte	2.767.263	2.551.742	2.793.418	2.720.250	2.932.863	2.891.410	2.880.814	3.040.303	2.990.953	3.046.734	2.965.147	2.917.125	34.498.022
Nordeste	6.706.685	6.341.515	6.788.962	6.561.914	6.672.968	6.592.398	6.381.967	6.503.724	6.504.449	6.867.554	6.902.671	6.902.847	79.727.653
Sudeste	19.652.267	19.442.018	20.140.691	19.728.080	18.865.653	18.770.839	18.474.085	18.424.987	19.252.186	19.426.381	19.854.859	19.670.237	231.702.283
Sul	7.293.209	7.507.234	7.831.277	7.267.165	6.685.477	6.736.472	6.747.942	6.872.127	6.973.468	6.868.074	6.925.662	7.118.769	84.826.875
Centro-Oeste	2.864.701	2.779.730	2.900.527	2.971.660	2.927.725	2.935.133	2.817.086	2.892.666	3.127.545	3.060.287	3.070.508	2.867.313	35.214.880
SUBSISTEMA ELÉTRICO													
Sistemas Isolados	233.905	218.769	234.361	226.597	235.696	234.055	228.558	250.289	252.524	258.380	261.885	248.958	2.883.977
Norte	2.784.590	2.572.795	2.804.637	2.747.528	2.929.569	2.911.334	2.912.561	3.057.715	3.026.718	3.093.248	3.008.886	2.984.603	34.834.184
Nordeste	6.171.227	5.830.927	6.249.492	6.023.681	6.128.092	6.032.332	5.823.441	5.903.141	5.878.519	6.226.676	6.269.796	6.276.626	72.813.949
Sudeste /C.Oeste	22.801.194	22.492.514	23.335.108	22.984.098	22.105.852	22.012.060	21.589.392	21.650.535	22.717.372	22.822.652	23.252.618	22.847.335	270.610.729
Sul	7.293.209	7.507.234	7.831.277	7.267.165	6.685.477	6.736.472	6.747.942	6.872.127	6.973.468	6.868.074	6.925.662	7.118.769	84.826.875

ANEXO D - Consumo Residencial de energia elétrica na rede no Brasil em 2017 (MWh). * Atualização em 15/07/2018
Fonte: EPE (2018a).

	2017*												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
TOTAL RESIDENCIAL	11.880.752	11.329.834	12.107.521	11.110.447	10.911.641	10.753.282	10.389.159	10.435.493	11.065.599	11.119.190	11.413.236	11.384.485	133.900.638
REGIÃO GEOGRÁFICA													
Norte	746.524	678.119	725.079	725.324	791.782	806.275	767.488	847.716	865.722	867.256	851.684	823.593	9.496.562
Nordeste	2.274.886	2.215.588	2.335.892	2.281.072	2.321.915	2.241.692	2.085.158	2.110.111	2.177.892	2.274.944	2.355.003	2.376.475	27.050.628
Sudeste	5.912.864	5.603.466	6.005.190	5.411.834	5.269.215	5.108.253	5.028.461	4.944.483	5.282.362	5.315.363	5.496.633	5.496.198	64.874.322
Sul	2.001.866	1.943.539	2.081.017	1.724.321	1.593.775	1.678.434	1.672.918	1.659.589	1.712.146	1.672.221	1.687.963	1.749.623	21.177.412
Centro-Oeste	944.613	889.122	960.343	967.896	934.954	918.628	835.134	873.594	1.027.476	989.406	1.021.953	938.596	11.301.715
SUBSISTEMA ELÉTRICO													
Sistemas Isolados	115.681	109.864	114.553	111.411	116.103	116.144	113.175	123.165	128.173	129.304	132.719	126.198	1.436.490
Norte	763.658	701.761	727.316	748.618	803.568	826.711	793.480	859.641	881.075	898.067	878.869	853.396	9.736.160
Nordeste	2.025.536	1.974.124	2.101.583	2.031.915	2.068.682	1.980.310	1.826.413	1.840.328	1.890.283	1.975.988	2.060.147	2.092.396	23.867.705
Sudeste/ C.Oeste	6.974.011	6.600.546	7.083.052	6.494.182	6.329.513	6.151.683	5.983.173	5.952.770	6.453.921	6.443.610	6.653.538	6.562.872	77.682.871
Sul	2.001.866	1.943.539	2.081.017	1.724.321	1.593.775	1.678.434	1.672.918	1.659.589	1.712.146	1.672.221	1.687.963	1.749.623	21.177.412