

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**A TARIFA HORÁRIA PARA OS CONSUMIDORES
RESIDENCIAIS SOB O FOCO DAS REDES
ELÉTRICAS INTELIGENTES - REI**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Iuri Castro Figueiró

Santa Maria, RS, Brasil, 2013

**A TARIFA HORÁRIA PARA OS CONSUMIDORES
RESIDENCIAIS SOB O FOCO DAS REDES ELÉTRICAS
INTELIGENTES - REI**

Iuri Castro Figueiró

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Engenharia Elétrica.**

**Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Alzenira da Rosa Abaide
Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon**

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Figueiró, Iuri Castro

A tarifa horária para os consumidores residenciais sob o foco das Redes Elétricas Inteligentes - REI / Iuri Castro Figueiró.-2013.

127 p.; 30cm

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide

Coorientador: Daniel Pinheiro Bernardon

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, RS, 2013

1. Smart Grid. Smart Metering 2. Tarifa horária branca 3. Consumidor residencial 4. PROCEL INFO 5. Método de Monte Carlo I. Abaide, Alzenira da Rosa II. Bernardon, Daniel Pinheiro III. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Iuri Castro Figueiró. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: iuricastrof@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado

**A TARIFA HORÁRIA PARA OS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS
SOB O FOCO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES - REI**

elaborado por
Iuri Castro Figueiró

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Elétrica

Comissão Examinadora

Alzenira da Rosa Abaide, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Luciane Neves Canha, Dr^a. (UFSM)

Gladis Bordin, Dr^a. (UFRGS)

Santa Maria, 24 de julho de 2013.

À minha família.

"O mundo não precisa de melhores mestres, nem de melhores palavras, mas de melhores atitudes."

Augusto Branco

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por ter me dado força, coragem e determinação, para vencer este grande desafio em minha vida.

Agradeço a professora Alzenira da Rosa Abaide, pela orientação, confiança e amizade, além de todos os ensinamentos que foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Daniel Pinheiro Bernardon, pela confiança, amizade e pelas inúmeras ideias que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

Aos demais colegas do Centro de Estudos em Energia e Sistemas de Potência – CEESP, pelas sugestões, ideias, e que de alguma forma ou outra contribuíram para o trabalho.

Agradeço aos meus pais Francisco e Lúcia e ao meu irmão Wilian; pessoas essenciais em minha vida.

A minha namorada Ailana, pelo amor, carinho, palavras de incentivo e coragem nos momentos que mais precisei.

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar”. (Chico Xavier)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Santa Maria

A TARIFA HORÁRIA PARA OS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS SOB O FOCO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES - REI

Autor: Iuri Castro Figueiró

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide, Dra. Eng.

Co-orientador: Daniel Pinheiro Bernardon, Dr.

Data e Local da defesa: Santa Maria, 24 de Julho de 2013.

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para avaliar e estimar o comportamento do consumidor residencial frente a aplicação da tarifa horária branca. No contexto das Redes Elétricas Inteligentes, esta tarifa visa incentivar os consumidores a deslocarem o seu consumo para horários de menor carregamento do sistema e, conseqüentemente, buscar um melhor aproveitamento da infraestrutura do sistema elétrico. Neste sentido, a metodologia proposta considera a análise sobre os hábitos de utilização do chuveiro elétrico, carga com maior representatividade no consumo final e na ponta da curva de carga dos consumidores residenciais. Desta forma, são utilizados dados do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – PROCEL INFO, que reúne uma base de informações sobre os hábitos de utilização de equipamentos oriunda de pesquisas realizadas no mercado residencial brasileiro no ano de 2005. Esta base de dados, aliada a aplicação do Método de Monte Carlo, fornece uma visão dos possíveis efeitos da aplicação da tarifa horária para o consumidor e para o sistema elétrico, assim como, nortear ações que possam ser tomadas em função de uma melhor adaptação do consumidor frente a esta nova tendência.

Palavras-chave: *Smart Grid. Smart Metering. Tarifa horária branca. Consumidor residencial. PROCEL INFO. Método de Monte Carlo.*

ABSTRACT

Master's Dissertation
Graduate Program in Electrical Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil.

THE HOURLY TARIFF TO THE RESIDENTIAL CONSUMERS ON THE SMART GRID FOCUS

Author: Iuri Castro Figueiró

Advisor: Alzenira da Rosa Abaide, Dra. Eng.

Co-advisor: Daniel Pinheiro Bernardon, Dr.

Date e Local of presentation: Santa Maria, July 24th, 2013,

This Master's dissertation presents the development of a methodology to evaluate and estimate the behavior of the residential consumer facing the application of the white hourly tariff. In the context of the Smart Grids, this rate is applied aiming to encourage the consumers to shift their consumption to times of lower loading of system, looking for a better utilization of the infrastructure of the electric system. Considering this, the proposed methodology considers the analysis about the habits of use of electric shower, which is the household equipment that presents the greatest contribution on the final consumption and on the peak of the load curve of residential consumers. In this way the analysis considers data from the Brazilian Center of Information in Energy Efficiency - PROCEL INFO, which includes information about habits of use of household. This database, combined with the application of the Monte Carlo method, provide an overview of the possible effects of the application of the hourly rate to the consumers and to the electrical system, as well as, a guideline of actions that can be taken for a better adaptation of the consumers, considering this new trend.

Key-words: *Smart Grid. Smart Metering. White hourly tariff. Residential consumer. PROCEL INFO. Monte Carlo Method.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características de utilização de equipamentos no setor residencial Brasileiro	54
Tabela 3.2 - Frequência de utilização do chuveiro elétrico quanto aos valores mais representativos para cada faixa de consumo.	66
Tabela 4.1 - Cenários para a faixa de 0 a 50 kWh.	72
Tabela 4.2 - Cenários para a faixa de 51 a 100 kWh.	72
Tabela 4.3 - Cenários para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh.	73
Tabela 4.4 - Cenários para a faixa de consumo superior a 500 kWh.	74
Tabela 4.5 - Custos para a faixa de 0 a 50 kWh.	79
Tabela 4.6 - Custos para a faixa de 51 a 100 kWh.	80
Tabela 4.7 - Custos para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh.	82
Tabela 4.8 - Custos de utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca e convencional para a faixa com consumo maior que 500 kWh.	85
Tabela 4.9 - Percentual de clientes residenciais que continuaria a utilizar o chuveiro elétrico no horário de ponta mesmo que fosse aplicada uma tarifa mais alta neste período.	89
Tabela 4.10 - Frequência atribuída para os cenários de utilização do chuveiro elétrico.	90
Tabela 4.11 - Atribuição de frequência para os cenários da faixa de 0 a 50 kWh.	90
Tabela 5.1 - Análise de cenários de utilização do chuveiro elétrico para um pequeno grupo de consumidores da faixa de 0 a 50 kWh.	94
Tabela 5.2 - Análise da variação do custo médio de utilização do chuveiro elétrico em função do número de cenários sorteados para a faixa de 0 a 50 kWh.	96
Tabela 5.3 - Análise de cenários de utilização do chuveiro elétrico para um pequeno grupo de consumidores para a faixa de 51 a 100 kWh.	98
Tabela 5.4 - Cenários com maior tendência para a faixa de 101 a 200 kWh.	102
Tabela 5.5 - Custo de utilização do chuveiro elétrico em função do nível de predisposição de utilização no horário de ponta.	108

Tabela 5.6 - Média realizada entre cenários com redução e acréscimo de uma mesma faixa de consumo.	108
Tabela 5.7 - Concentração de consumo por posto tarifário em função do custo de utilização do chuveiro elétrico.	109
Tabela 5.8 - Frequência atribuída considerando uma modulação de 10% de consumo nos horários de ponta.	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Hierarquia tradicional do sistema elétrico de potência	23
Figura 2.2 - Novo modelo da rede no contexto das Redes Inteligentes.	25
Figura 2.3 - Estrutura do medidor convencional em comparação a estrutura de medição avançada (AMI)	27
Figura 2.4 - Mapa das iniciativas em <i>Smart Grid</i> e <i>Smart Meters</i>	28
Figura 2.5 - Previsão de crescimento de medidores inteligentes na região Ásia - Pacífico.	31
Figura 2.6 - Comparação entre mercados da América do Norte e Ásia - Pacífico. .	32
Figura 2.7 - Estrutura da tarifa horo-sazonal verde.	37
Figura 2.8 - Estrutura da tarifa horo-sazonal azul.....	37
Figura 2.9 - Curva de carga por segmentos de tensão de uma concessionária.....	39
Figura 2.10 - Comparação entre os custos de capacidade horários entre consumidores do Grupo B e Grupo A	39
Figura 2.11 - Temas abordados na AP120 referente a nova metodologia tarifária aplicada as concessionaria de distribuição.	40
Figura 2.12 - Estrutura tarifária para os consumidores do Grupo B	42
Figura 2.13 - Postos tarifários da modalidade branca.	43
Figura 2.14 - TOU aplicada na província de Ontário.	45
Figura 2.15 - Curva de carga considerando a aplicação de TOU.....	46
Figura 2.16 - Exemplo de curvas de Frequência absoluta e acumulada	49
Figura 2.17 - Processo de simulação.	49
Figura 3.1 - Composição do grupo de baixa tensão	51
Figura 3.2 - Interface do SINPHA.	53
Figura 3.3 - Curva de carga de equipamentos para os consumidores residenciais brasileiros.	54
Figura 3.4 - Comparação entre a curva de carga do chuveiro elétrico e iluminação	55
Figura 3.5 - Curva de carga média de equipamentos por região do país.....	56
Figura 3.6 - Comparação entre as curvas de carga do chuveiro elétrico e do ar condicionado para a região Nordeste.....	57

Figura 3.7 - Comparação entre as curvas de carga do chuveiro elétrico e ar condicionado para a região Norte	58
Figura 3.8 - Curva de carga média por equipamentos para a região Centro Oeste do país.....	59
Figura 3.9 - Curva de carga média por equipamentos para a região Sudeste do país.	59
Figura 3.10 - Curva de carga média de equipamentos para a região Sul do país.....	60
Figura 3.11 - Curva de carga do chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil	61
Figura 3.12 - Concentração de consumo do chuveiro elétrico por posto tarifário.....	61
Figura 3.13 - Tempo médio de banho	63
Figura 3.14 - Potência dos chuveiros nos domicílios.....	64
Figura 3.15 - Número de banhos por faixa de consumo.....	65
Figura 3.16 - Predisposição em utilizar o chuveiro elétrico no horário de ponta.	66
Figura 4.1 - Arquitetura para a elaboração da metodologia proposta.....	69
Figura 4.2 - Componentes tarifárias em R\$/kWh para a modalidade tarifária branca	76
Figura 4.3 - Componentes Tarifários para a modalidade convencional.....	76
Figura 4.4 - Comparação entre a Tarifa Convencional e Tarifa Branca.	77
Figura 4.5 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidade branca e convencional para a faixa de 0 a 50 kWh.	80
Figura 4.6 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidade branca e convencional para a faixa de 51 a 100 kWh.....	81
Figura 4.7 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidade branca e convencional para as faixas de 101 a 200, 201 a 300 e de 301 a 500 kWh.	83
Figura 4.8 - Análise sobre a variação do Custo Total (Cr) em função do deslocamento de um banho entre os postos tarifários.....	84
Figura 4.9 - Análise sobre a variação do Custo Total (Cr) em função do deslocamento de um banho entre os postos tarifários.	85
Figura 4.10 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidade branca e convencional para a faixa com consumo superior a 500 kWh.	87
Figura 4.11 - Curva de frequência acumulada para a faixa de 0 a 50 kWh.....	91

Figura 4.12 - Primeiro experimento para o processo de simulação.....	92
Figura 4.13 - Segundo experimento no processo de simulação.....	92
Figura 4.14 - Realização de n experimentos conforme a Lei dos Grandes Números para a obtenção de um cenário médio de utilização do chuveiro elétrico.	93
Figura 5.1 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 0 a 50 kWh.	96
Figura 5.2 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 0 a 50 kWh.....	97
Figura 5.3 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 51 a 100 kWh.	98
Figura 5.4 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores do Ponto 1 para a faixa de 51 a 100 kWh.	99
Figura 5.5 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 51 a 100 kWh.....	100
Figura 5.6 - Comportamento de um pequeno grupo de consumidores quanto a escolha dos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 101 a 200 kWh.	100
Figura 5.7 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 101 a 200 kWh.	101
Figura 5.8 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores do Ponto 1 para a faixa de 101 a 200 kWh.	101
Figura 5.9 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 101 a 200 kWh.....	102
Figura 5.10 - Comportamento de um pequeno grupo de consumidores quanto a escolha dos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 201 a 300 kWh.	103
Figura 5.11 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores da faixa de 201 a 300 kWh.	103
Figura 5.12 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 201 a 300 kWh.	104
Figura 5.13 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 201 a 300 kWh.....	104

Figura 5.14 - Comparação entre a análise de um pequeno grupo de consumidores e um conjunto quanto aos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 301 a 500 kWh.	105
Figura 5.15 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 301 a 500 kWh.	105
Figura 5.16 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 301 a 500 kWh.....	106
Figura 5.17 - Comparação entre a análise de um pequeno grupo de consumidores e um conjunto quanto aos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de consumo superior a 500 kWh.	106
Figura 5.18 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa superior a 500 kWh.	107
Figura 5.19 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa superior a 500 kWh.....	107
Figura 5.20 - Comparação entre um perfil sem gerenciamento e com gerenciamento através da tarifa branca.	110
Figura 5.21 - Comparação entre os custos considerando o indicador do PROCEL e uma variação de 10% sobre o indicador.	112

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica.
AMI	– <i>Advanced Metering Infrastructure</i> .
AP	– Audiência Pública.
GD	– Geração Distribuída.
MMC	– Método de Monte Carlo.
ONS	– Operador Nacional do Sistema.
PROCEL INFO	– Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética.
PRORET	– Procedimentos de Regulação Tarifária.
REI	– Redes Elétricas Inteligentes.
RN	– Resolução Normativa.
SINPHA	– Sistema de Informações de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos.
SIN	– Sistema Interligado Nacional.
SMC	– Simulação de Monte Carlo.
TB	– Tarifa Branca.
TE	– Tarifa de energia.
TOU	– <i>Time of Use</i> .
TR _{CV}	– Tarifa convencional de energia.
TUSD	– Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
1.1 Caracterização e justificativa	19
1.2 Objetivos.....	21
1.3 Organização do trabalho	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Panorama internacional	27
2.1.1 Objetivos das iniciativas em <i>Smart Grid</i> internacionais	29
2.2 Objetivos e iniciativas em <i>Smart Grid</i> no Brasil	32
2.3 Estrutura Tarifária Brasileira.....	35
2.3.1 Evolução Histórica das Tarifas no Brasil.....	35
2.3.2 Nova estrutura tarifária Brasileira	38
2.3.3 Modalidade Tarifária Branca.....	40
2.3.3.1 Componentes da Tarifa Branca	43
2.4 Experiências internacionais com tarifas horárias	44
2.5 Métodos de simulação.....	47
2.5.1 Método de Monte Carlo	48
3 HÁBITOS DE CONSUMO RESIDENCIAIS	51
3.1 Avaliação dos hábitos de consumo de consumidores residenciais no Brasil	52
3.2 Caracterização dos hábitos de utilização do chuveiro elétrico na Região Sul do país.....	60
3.2.1 Características de utilização de chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil.....	62
3.2.1.1 Tempo médio de banho.....	63
3.2.1.2 Quantidade de chuveiros por potência	64
3.2.1.3 Frequência de utilização do chuveiro elétrico	64

3.2.1.4 Redução incentivada na ponta	66
4 METODOLOGIA PROPOSTA	68
4.1 Determinação dos cenários de utilização do chuveiro elétrico	70
4.1.1 Cenários para a faixa de 0 a 50 kWh.....	71
4.1.2 Cenários para a faixa de 51 a 100 kWh.....	72
4.1.3 Cenários para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh	73
4.1.4 Cenários para a faixa de consumo superior a 500 kWh	74
4.2 Determinação dos custos de cada cenário de utilização do chuveiro elétrico	75
4.2.1 Custos para a faixa de 0 a 50 kWh.....	79
4.2.2 Custos para a faixa de 51 a 100 kWh.....	80
4.2.3 Custos para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300kWh e 301 a 500 kWh ..	82
4.2.4 Custos para a faixa com consumo maior que 500 kWh.....	85
4.3 Modelagem e Aplicação do Método de Monte Carlo.....	88
4.3.1 Procedimento para Elaboração das Curvas de Frequência Acumulada e Absoluta	89
4.3.2 Processo de Simulação	91
4.3.2.1 Processo de Simulação da Faixa de 0 a 50 kWh	91
5 ANÁLISE DE RESULTADOS	94
5.1 Análise de custos de utilização do chuveiro elétrico para o consumidor ...	94
5.1.1 Faixa de 0 a 50 kWh.....	94
5.1.2 Faixa de 51 a 100 kWh.....	98
5.1.3 Faixa de 101 a 200 kWh.....	100
5.1.4 Faixa de 201 a 300 kWh.....	102
5.1.5 Faixa de 301 a 500 kWh.....	104
5.1.6 Faixa de consumo superior a 500 kWh.....	106
5.2 Síntese de resultados	107

5.2.1 Perfil de utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca	109
5.2.2 Análise considerando um maior gerenciamento de consumo.....	111
5.3 Sugestões para o emprego da tarifa branca	113
CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6.1 Conclusões.....	114
6.2 Trabalhos futuros	116
6.3 Trabalhos publicados	117
REFERÊNCIAS.....	119
Apêndice A.....	125

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização e justificativa

O Brasil e o mundo estão passando por uma revolução no sistema elétrico, com novas tecnologias sendo agregadas e novos desafios são encontrados no que se refere as *Smart Grid*. As Redes Elétricas Inteligentes (REI) tornam-se realidade em muitos países da Europa, Ásia e América do Norte, com variadas abordagens e aplicações, mas que de forma geral visam criar alternativas para um gerenciamento cada vez mais complexo da rede, no que diz respeito a inserção de fontes intermitentes de energia, fluxo bidirecional de informações e de energia, veículos elétricos, etc.

O conceito de *Smart Grid* traz consigo uma série de funcionalidades avançadas para o sistema de distribuição, impactando tanto nos processos de gestão do sistema de distribuição quanto nos procedimentos de planejamento, operação e engenharia, além de permitir ao consumidor uma maior gerência sobre seus hábitos de consumo de energia (Duarte, et al., 2013).

No Brasil, o advento desta nova tecnologia atribuirá aos consumidores finais um novo papel no mercado de energia elétrica, tornando-os agentes ativos por meio de uma maior participação na operação, eficiência e confiabilidade do sistema elétrico. Essa participação se dará primeiramente por meio de uma nova opção tarifária disponibilizada aos consumidores de baixa tensão, que aliada a uma infraestrutura de medição inteligente, permitirá uma utilização mais racional da energia elétrica em função dos reais custos de expansão do sistema que são imputados atualmente.

Os consumidores de baixa tensão, ao contrário dos consumidores de média e alta tensão, não possuem sinalização horária do consumo de energia, ou seja, são faturados por uma tarifa que independe das horas do dia ou do período do ano, acarretando em maiores custos para o sistema em função de uma maior concentração de consumo em horários específicos do dia. Em consequência disto, são os maiores responsáveis pelos custos de expansão do sistema de distribuição.

Neste sentido, visando o aperfeiçoamento da estrutura tarifária brasileira, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) criou a tarifa horária chamada tarifa branca, a qual tem o objetivo principal de promover a utilização racional do uso da energia por parte destes consumidores nos horários de maior carregamento do sistema, assim como buscar um melhor aproveitamento da infraestrutura do sistema elétrico, incentivando os consumidores a utilizarem a energia fora do horário de ponta. Esta tarifa horária, prevista para entrar em vigor em 2014 e que terá caráter opcional, propõe aos consumidores de baixa tensão, um sinalizador econômico mais elevado em determinados horários do dia (horários de ponta e intermediário) e valores mais baixos em períodos onde sistema é menos requisitado (horário fora de ponta).

Com esta nova opção tarifária e as possibilidades da medição inteligente, o consumidor poderá gerir sua carga e reduzir seus gastos com energia elétrica, além de proporcionar a concessionária uma melhor eficiência do uso de seu sistema de distribuição. No entanto, esta nova modalidade influenciará nos hábitos de consumo do brasileiro, principalmente na parcela mais representativa deste grupo tarifário: o consumidor residencial. Este consumidor possui uma concentração típica de consumo de energia no horário de ponta do sistema, resultante da grande utilização do chuveiro elétrico neste período, considerado o maior responsável pela formação da ponta destes consumidores (ANEEL, 2010d). O chuveiro elétrico possui uma grande representatividade no consumo final destes consumidores e a utilização poderá ser decisiva no controle de gastos com energia elétrica com a aplicação de uma nova modalidade tarifária.

Neste contexto, a proposta deste trabalho está focada no desenvolvimento de uma metodologia para estimar e melhorar a compreensão do impacto desta nova modalidade tarifária sobre o consumidor residencial, do ponto de vista dos hábitos de utilização do chuveiro elétrico. Com esta proposta, espera-se obter um panorama do impacto financeiro sobre o consumidor residencial, além de uma visualização transparente das possíveis consequências e benefícios da adoção da tarifa branca no que se refere a mudança ou não de hábitos.

1.2 Objetivos

Como objetivo geral deste trabalho tem-se o desenvolvimento de uma metodologia para avaliar e estimar o comportamento do consumidor residencial frente a aplicação de uma tarifa horária, com base nos hábitos de utilização do chuveiro elétrico. Para atingir este objetivo foram traçados alguns objetivos específicos, os quais são:

- Caracterizar e compreender o panorama das Redes Elétricas Inteligentes no contexto nacional e internacional;
- Caracterizar as cargas e identificar os hábitos de consumo do brasileiro;
- Utilizar na metodologia proposta indicadores de utilização do chuveiro elétrico disponibilizados pelo Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – PROCEL INFO;
- Aplicação do Método de Monte Carlo como parte da metodologia e como forma de estimar e avaliar o comportamento e predisposição do consumidor frente a uma tarifa horária;
- Analisar resultados e propor medidas que visam uma melhor aplicação da tarifa branca.

1.3 Organização do trabalho

Para alcançar estes objetivos, o presente trabalho se divide em seis capítulos, incluindo este introdutório.

O Capítulo 2 compreende uma contextualização sobre as *Smart Grid*, quanto suas características, definições e diferentes abordagens e iniciativas internacionais. No cenário nacional é exposto as principais iniciativas que colocam o Brasil a caminho de uma Rede Elétrica Inteligente. Dentre as iniciativas está a tarifação horária branca, a qual é o foco deste trabalho. Neste sentido são destacados características desta nova modalidade tarifária e justificativas para a implantação em consumidores residenciais, além de apresentar e conceituar o Método de Monte

Carlo, como meio de simulação e avaliação dos efeitos desta modalidade tarifária sobre os consumidores.

O Capítulo 3 aborda a representatividade do consumidor residencial no mercado de baixa tensão, assim como expõe um estudo sobre os hábitos de consumo destes consumidores através de dados do PROCEL INFO e do SINPHA, além de caracterizar a curva típica de carga de equipamentos para cada região do país. Também, dá-se destaque para a curva típica de utilização do chuveiro elétrico, evidenciando indicadores de utilização do chuveiro elétrico que servem de base para a elaboração da metodologia do trabalho.

O Capítulo 4 aborda as etapas para a elaboração da metodologia proposta, a qual está organizada em três tópicos fundamentais: Determinação de cenários de utilização do chuveiro elétrico, Determinação de custos de utilização com a tarifa branca e Modelagem e Aplicação do Método de Monte Carlo. A primeira etapa descreve a determinação dos cenários de utilização do chuveiro para cada faixa de consumo, considerando os postos da tarifa branca e o número de banhos em cada faixa de consumo. A segunda etapa estabelece os custos de cada cenário de banho apresentados na etapa anterior com a aplicação da tarifa branca. A terceira etapa descreve a modelagem de comportamento de cada faixa de consumo frente a uma tarifa horária, como base da simulação de Monte Carlo e nos dados do PROCEL.

O Capítulo 5 apresenta os resultados por meio de análises individuais e coletivas das faixas de consumo, obtendo uma visão tanto do custo de utilização do chuveiro quanto do um provável perfil de carga do chuveiro. Além disso, são apresentadas recomendações e sugestões para a aplicação desta nova modalidade tarifária.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais, assim como algumas propostas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema elétrico existente é um produto da rápida urbanização em várias partes do mundo e seu crescimento é influenciado por fatores econômicos, políticos, geográficos, únicos de cada concessionária e região (Farhangi, 2010). A topologia básica do sistema tem permanecido inalterada, e desde o início, a indústria de energia tem operado com demarcações claras entre a geração, transmissão e distribuição de energia, possuindo diferentes níveis de automação, evolução e transformação (Farhangi, 2010).

Na estrutura hierárquica do sistema, mostrada na Figura 2.1 não há um gerenciamento completo de todos os parâmetros da rede e seus terminais, ou seja, há diferentes estágios de automação em cada nível do sistema.

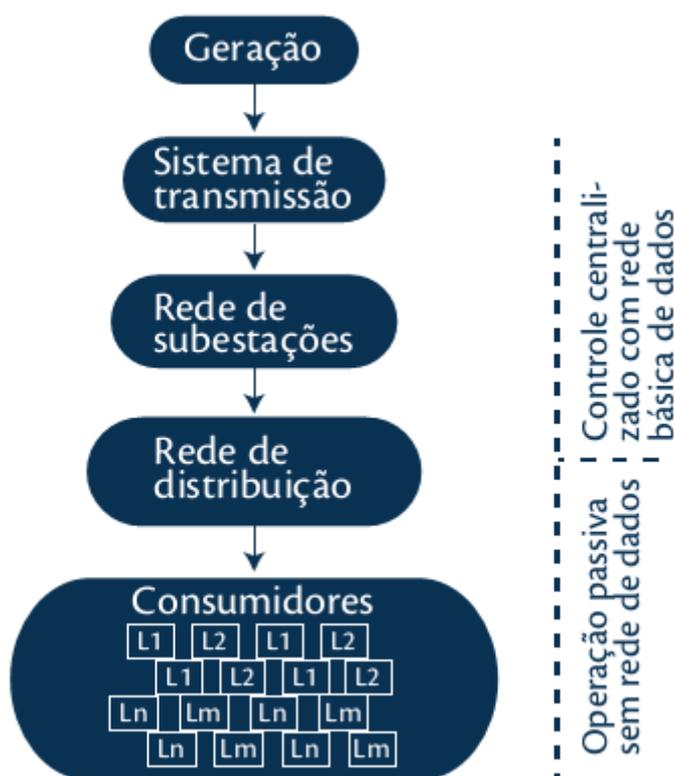


Figura 2.1 – Hierarquia tradicional do sistema elétrico de potência. Fonte: (CGEE, 2012)

Nesta estrutura, normalmente o topo da cadeia fornece energia a milhares de consumidores situados em sua base, o fluxo de energia é unidirecional e os consumidores possuem pouca participação na sua operação e eficiência. Na geração, exemplificada principalmente por usinas hidroelétricas, termoelétricas e

nucleares, há um maior grau de automação, enquanto que a transmissão já conta com sistemas de supervisão e de contingência avançados, por exemplo, o Sistema Interligado Nacional (SIN) gerido pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Por fim, a distribuição, sem automação ou com automação incipiente (Sérgio, et al., 2011).

Com um consumo de energia crescendo em média 4% a.a. no Brasil e 2% no mundo, as empresas de energia elétrica deverão encontrar alternativas e maneiras para gerenciar este crescimento, com um maior grau de confiabilidade, segurança e qualidade do fornecimento da energia para o consumidor. A geração centralizada continuará sendo importante, mas a inserção de novos elementos geradores na rede será outro fator que resultará em um aumento na complexidade do gerenciamento do sistema elétrico (Grzeidak, et al., 2011).

Em vista disso, surgiram diversos novos conceitos que fazem com que as redes elétricas tenham topologias dinâmicas, que mudem de configuração em tempo real, em função das modificações dos insumos, tanto na geração quanto no consumo de energia (Toledo, 2012). Novos conceitos baseados nos avanços no campo de engenharia elétrica, da comunicação e da otimização, que induzem à automação de subestações, permitem que o consumidor saiba em tempo real qual o preço da eletricidade, medem bidirecionalmente o fluxo de potência das unidades consumidoras – produtoras e permitem conexões e desconexões a distância (Toledo, 2012).

Neste contexto o conceito *Smart Grid* nasce como uma resposta a esta tendência, mas ainda não está claramente definido, não é único, nem possui uma única tecnologia associada. Pelo contrário, é uma mistura de vários temas e tecnologias que podem ter abordagens diferentes (Grzeidak, et al., 2011).

Em termos gerais, *Smart Grid* ou Rede Elétrica Inteligente (REI), é a aplicação da tecnologia de informação para o sistema elétrico de potência, integrada aos sistemas de comunicação e infra - estrutura de rede automatizada (Luiz, 2010). Também pode ser definida como um conjunto de redes e equipamentos do sistema de distribuição de energia, cujo controle e comando é feito com o uso da tecnologia digital de informação, de medição, de monitoramento e de telecomunicações, e cuja adoção permite o provimento de novos serviços aos consumidores e a melhoria dos serviços existentes (Maggi, 2012). Assim pode-se assumir que a lógica das redes inteligentes envolve a introdução de nova filosofia de operação, com novas

tecnologias de obtenção, envio e armazenamento de dados, geração distribuída, veículos elétricos, automatização das redes com medidores de consumo de energia em tempo real, possibilitando a mudança da relação do consumidor final com a concessionária de energia (Paulino, 2011).

O sistema convencional mostrado na Figura 2.1 começará a dar espaço a uma nova concepção de rede, coexistindo com a rede tradicional de forma a complementá-lo (Farhangi, 2010). Neste novo modelo, mostrado na Figura 2.2, haverá uma integração maior entre as fontes de geração de energia e os próprios consumidores.

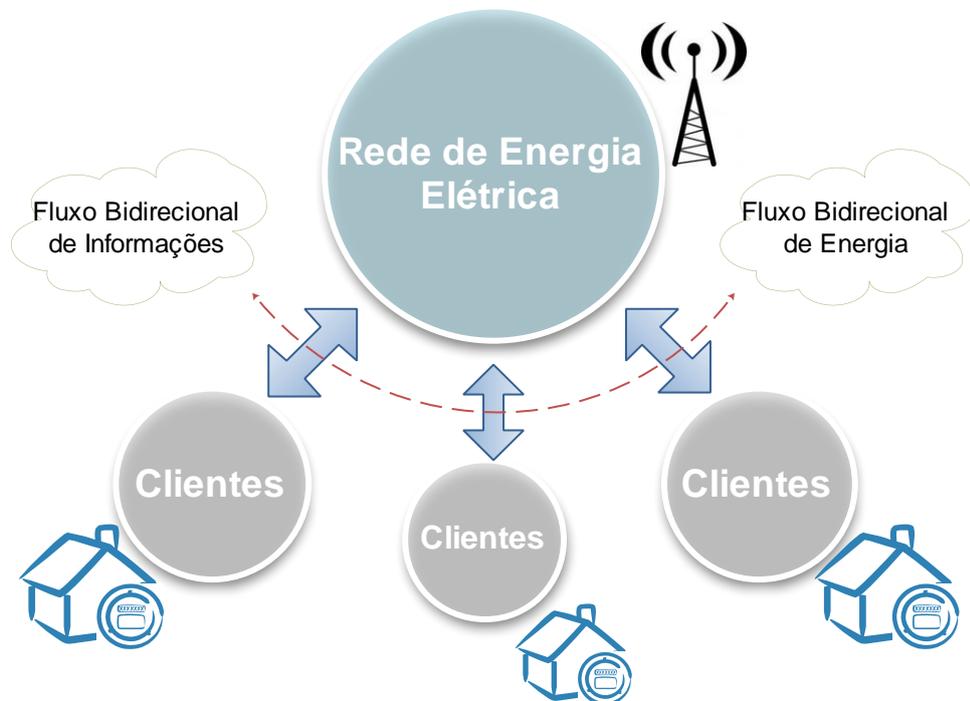


Figura 2.2 - Novo modelo da rede no contexto das Redes Inteligentes. Fonte: adaptado de (Grzeidak, et al., 2011).

Neste novo modelo, os clientes gerarão e comercializarão sua própria energia de acordo com a demanda e a regulamentação. As redes serão suportadas por uma infraestrutura de comunicação bidirecional, de alta velocidade com tecnologias de medição avançada e controle. A estrutura de transmissão e distribuição será interconectada, de modo que os consumidores e geradores de todos os tamanhos estejam interligados entre si e com os novos componentes da rede de natureza intermitente, tais como unidades de armazenamento de energia e fontes renováveis (Grzeidak, et al., 2011).

Este novo conceito de rede trará novos desafios tecnológicos para as distribuidoras quanto ao desenvolvimento de novos sistemas para medição, automação das redes, integração da geração distribuída, tratamento de cargas especiais (veículos elétricos), tratamento de dados e ações de gestão pelo lado da demanda (Toledo, 2012). Em consequência disso, o sistema com um todo será beneficiado. Para os clientes, a aplicação desta nova tecnologia permitirá uma participação maior na operação do sistema, permitindo-lhe um melhor planejamento e controle de seus gastos com energia elétrica, além da capacidade de gerenciar sua carga e de se beneficiar de tarifas diferenciadas de consumo. Para o sistema elétrico, pode-se citar inúmeros benefícios como a detecção e correção inteligente de falhas na rede em tempo real, reconfiguração automática da rede, gestão pelo lado da demanda, gestão em tempo real da oferta versus demanda de energia e a medição inteligente (Toledo, 2012).

Os potenciais benefícios das REI será visível para o consumidor por meio do conceito de medição inteligente e/ou AMI (*Advanced Metering Infrastructure*). Somente com uma infraestrutura de medição inteligente haverá um elo de interação entre o cliente e a concessionária. Um sistema de medição inteligente permitirá que o consumidor tenha um melhor controle de seus gastos através de tarifas horárias, assim como o controle de consumo em sua residência, além de vários canais de interação que os auxiliarão. Segundo um estudo da Companhia *Bristh Gas* do Reino Unido sobre medidores inteligentes, dentre os entrevistados, 73% afirmaram que os medidores inteligentes mudaram a forma de utilizar sua energia; de forma mais eficiente e consciente, e 64% realizaram melhorias em suas casas em termos de eficiência energética (Gas, 2012).

Em uma estrutura de medição avançada (AMI) há o próprio medidor inteligente (*smart meter*), infraestrutura de comunicação e dispositivos de controle. Estes medidores podem ler informações de consumo em tempo real e de forma bidirecional, controlar a carga de forma remota e local, assim como monitorar diversos aparelhos domésticos e dispositivos do consumidor (Depuru, et al., 2011). Na Figura 2.3 é mostrado um modelo de arquitetura de um sistema de medição convencional em comparação com a infraestrutura de medição avançada (AMI).

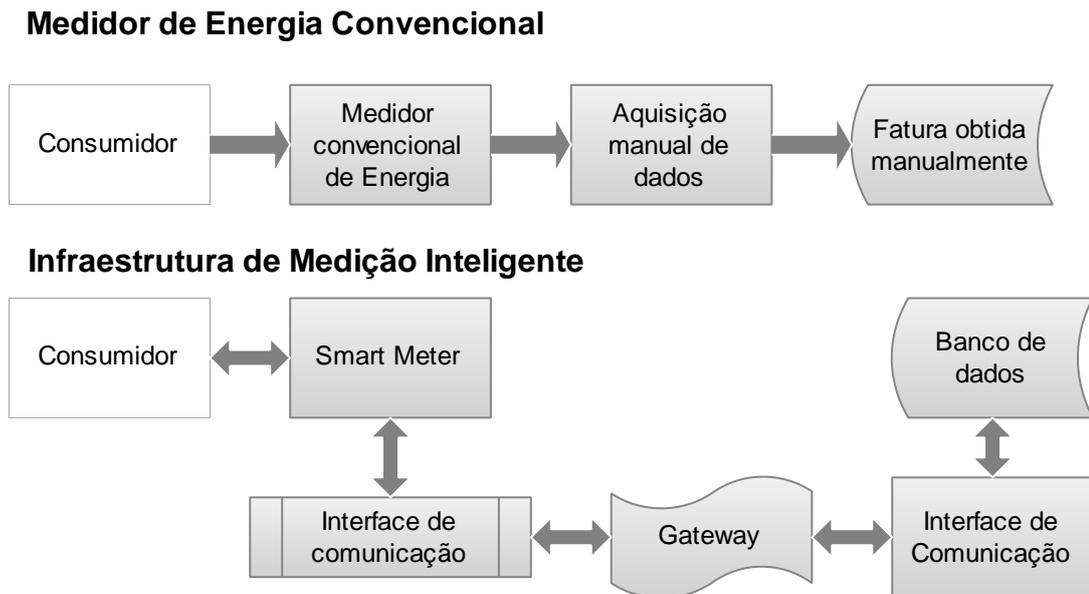


Figura 2.3 - Estrutura do medidor convencional em comparação a estrutura de medição avançada (AMI). Fonte: adaptado de (Depuru, et al., 2011)

Em um sistema convencional, o consumidor possui pouca informação sobre o seu consumo, e muitas vezes esta informação está restrita à fatura final de energia. Da mesma forma, a fatura é obtida através de aferição manual pela concessionária, que para grande parte dos consumidores apenas a componente de consumo de energia é considerada.

No futuro das redes de distribuição, os medidores inteligentes terão um grande papel na monitoração do desempenho e características de carga da rede. Também, as empresas poderão gerir de forma eficiente a demanda de energia já que terão uma base confiável de consumo de todos os consumidores, podendo orientá-los sobre maneiras eficientes de utilizar os seus aparelhos domésticos. Os medidores inteligentes podem ser programados para manter uma escala de operação de aparelhos domésticos e controlar a operação de outros dispositivos. Em relação a fraudes e roubos, os medidores auxiliarão na detecção destes problemas melhorando a eficiência e qualidade de energia (Depuru, et al., 2011).

2.1 Panorama internacional

O tema *Smart Grid* e *Smart Metering* é destaque em todo mundo e tendência para os próximos anos. Muitos países possuem programas focados em cidades inteligentes (*Smart Cities*), projetos – pilotos em medição inteligente (AMI), cada um

com sua respectiva particularidade e necessidade de implantação. A Figura 2.4 mostra o panorama mundial de iniciativas em *Smart Grids* e *Smart Metering*, onde é possível obter informações sobre diversos projetos relacionados a medição inteligente e *Smart Grid*.



Figura 2.4 - Mapa das iniciativas em *Smart Grid* e *Smart Meters*. Fonte: (UK, 2011)

Observa-se que tais iniciativas estão se intensificando pelo mundo, concentrando-se na América do Norte e países da Europa, que representam aproximadamente 95% da base instalada dos medidores inteligentes no mundo (Ilc, 2011). Mesmo com grandes investimentos na área, os consumidores americanos ainda não possuem tanto envolvimento com tais iniciativas. É o que revela uma pesquisa realizada pelo SGCC (*Smart Grid Consumer Collaborative*) sobre os níveis de conhecimento em *Smart Grid* e *Smart Meters* em uma amostra da população americana em 2011. Neste estudo, 51% dos consumidores afirmaram que nunca haviam escutado o termo *Smart Grid* e 21% já ouviram falar, porém não sabiam muito sobre o assunto (SGCC, 2012). No ano seguinte, a mesma pesquisa revelou que este índice permaneceu quase o mesmo (SGCC, 2012a).

O panorama não era diferente de alguns países da Europa no ano de 2006. Em outra pesquisa realizada em 4 países (Espanha, Portugal, Holanda e Reino Unido) revelou que a maior parte das pessoas não tinha ouvido falar de medidores inteligentes. As pessoas no Reino Unido (39%) e em Portugal (24%) eram as que estavam mais informadas sobre o tema (Falco, 2007). Porém, com a implantação gradual de vários programas na Europa nos últimos anos, este cenário deve ter mudado o nível de informação sobre esta nova tendência que promete inserir o

consumidor neste novo contexto. Desta forma, é visto um breve contexto sobre iniciativas em *Smart Grid* no mundo afim de avaliar objetivos e aplicações de cada país.

2.1.1 Objetivos das iniciativas em *Smart Grid* internacionais

Como citado anteriormente, a definição de *Smart Grid* difere de acordo com as necessidades energéticas e/ou ambientais, assim como particularidades de cada sistema ou país. Nos Estados Unidos, o conceito de *Smart Grid* aborda a modernização das redes de distribuição e transmissão, melhoria dos níveis de serviço e o aumento da interação com o usuário final (Xue-song, et al., 2010). Também, boa parte dos investimentos na área está direcionada para soluções de geração distribuída e armazenamento local, uma vez que a geração americana baseia-se em grande parte em matrizes não renováveis (Toledo, 2012).

A abordagem Europeia é motivada pela necessidade de inserção de fontes renováveis em sua matriz energética, pois grande parte de seus insumos energéticos é oriunda de combustíveis fósseis e nucleares. Também, os países membros deste grupo possuem metas de redução de gases do efeito estufa, ampliação do uso de fontes renováveis e aumento da eficiência energética.

A Alemanha, por exemplo, pretende reduzir gradativamente o uso da energia nuclear, fechando todas as usinas nucleares ativas até 2022 (Freitas, 2011). Porém, o país terá uma década para ampliar a participação de fontes renováveis e encontrar alternativas mais eficientes para esta total substituição, uma vez que 23% de sua matriz energética é oriunda da energia nuclear.

No ano de 2010, a participação da energia renovável chegou a 17%, com grande destaque para a energia eólica (Deutschland, 2011). Segundo estimativas do governo alemão, em 2050, as fontes renováveis responderão por 80% de toda a eletricidade utilizada no país. Armazenar essa energia e distribuí-la de forma eficiente, é o que motiva o desenvolvimento das *Smart Grid* no país. Um exemplo disto é a cidade alemã de *Wildpoldsried*. Ao longo dos anos, a cidade de *Wildpoldsried* tem investido em fontes renováveis como o vento, o sol e o gás de biomassa. Esta rede eletroprodutora, construída para servir os cidadãos, produz

duas vezes mais energia verde do que a cidade consome, fato que surgiu a necessidade de gerir o excesso de produção de forma sustentável (Savers, 2011).

O mesmo foco é dado para o Reino Unido. O mesmo tem um compromisso de reduzir 80% de suas emissões de carbono até 2050 ampliando o uso de fontes renováveis em sua matriz energética, de acordo com Plano de Transição para uma Economia de Baixo Carbono (*Low Carbon Transition Plan* 2009). Cerca de 80% de sua geração é derivada de combustíveis fósseis, principalmente carvão e o gás natural, requerendo um maior investimento em fontes renováveis e outras não poluentes (Zeiss, 2011).

O Departamento de Energia e Mudanças Climáticas do Reino Unido (DECC) destaca como elementos principais para a concepção das *Smart Grid* no país os seguintes aspectos:

- A aplicação de tecnologia de informação e comunicação na rede;
- Medição inteligente, de modo a fornecer novos serviços aos consumidores como a tarifação horária;
- Expansão das redes, inclusive a interligação com outros países através de linhas de transmissão submarinas;
- Geração Distribuída (GD), considerando várias formas intermitentes de energia e meios de armazená-la.

Na região da Ásia – Pacífico, um grande número de concessionárias de energia e governos estão se preparando para suas iniciativas em *Smart Grid*, sendo que os medidores inteligentes são parte integrante desses programas. De acordo com o relatório da *Pike Research*, a base total instalada de medidores inteligentes na região Ásia – Pacífico irá aumentar de 52,8 milhões para 350,3 milhões em 2016 (Inteligentes, 2011).

De acordo com o analista sênior *Andy Bae*, os governos e concessionárias da Ásia-Pacífico tem quatro objetivos principais para o *Smart Grid* e implantações de medição inteligente (Inteligentes, 2011):

- Melhorar a confiabilidade e segurança da rede elétrica;
- Melhorar a eficiência operacional da infraestrutura de rede,

- Equilibrar a oferta e demanda de energia, e reduzir o impacto do sistema elétrico no ambiente.

Para atingir esses objetivos, os principais agentes da indústria em muitos países estão fazendo um esforço agressivo para instalações de medidores inteligentes (Inteligentes, 2011).

Entre os países da região Ásia - Pacífico, a China tem objetivos mais ambiciosos para instalações de medidores inteligentes. Em 2016, as previsões da *Pike Research* são de que a China terá mais de três quartos da base instalada de medidores inteligentes na Ásia-Pacífico, e o governo informou planos para continuar uma implantação em grande escala de medidores, pelo menos até 2020. Japão, Coréia do Sul e Austrália representam grandes mercados para os medidores inteligentes (Inteligentes, 2011). Na Figura 2.5 é mostrado o número de medidores acumulados por estes países previstos pelo estudo, no período de 2009 à 2016.

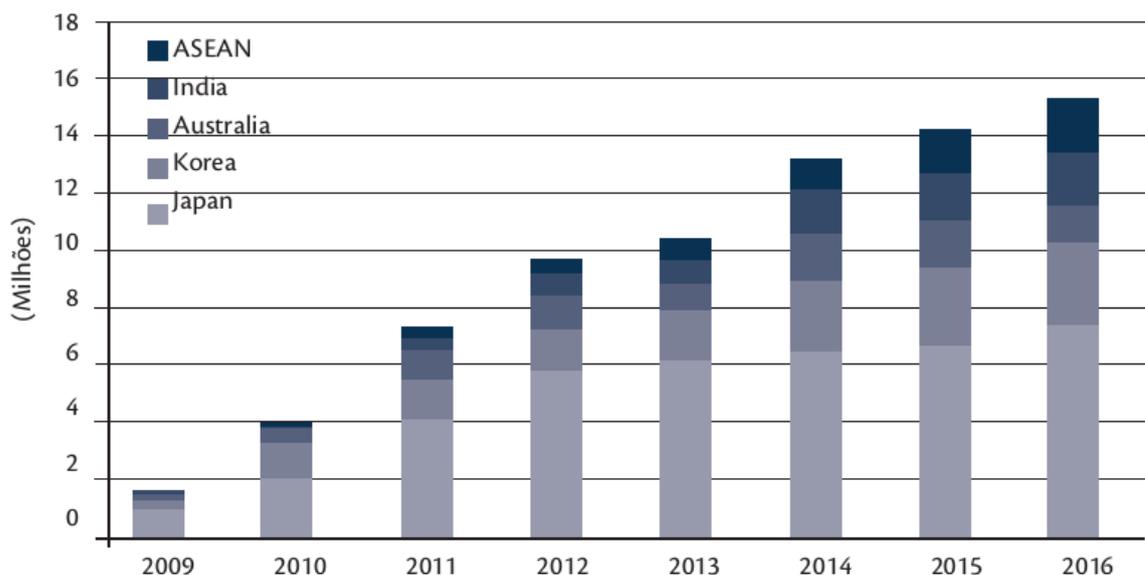


Figura 2.5 - Previsão de crescimento de medidores inteligentes na região Ásia - Pacífico. Fonte: (CGEE, 2012)

Observa-se que há um grande crescimento no mercado de *Smart Grid* na região da Ásia – pacífico, chegando a um crescimento de 36,6% ao ano considerando o mercado de medidores inteligentes (Research, 2011).

A Figura 2.6 é mostra uma comparação entre os países da Ásia – Pacífico e a América do Norte, considerados os mercados mais dinâmicos em projetos na área de *Smart Grid* e *Smart Metering* no mundo nos próximos anos (Insight, 2011).

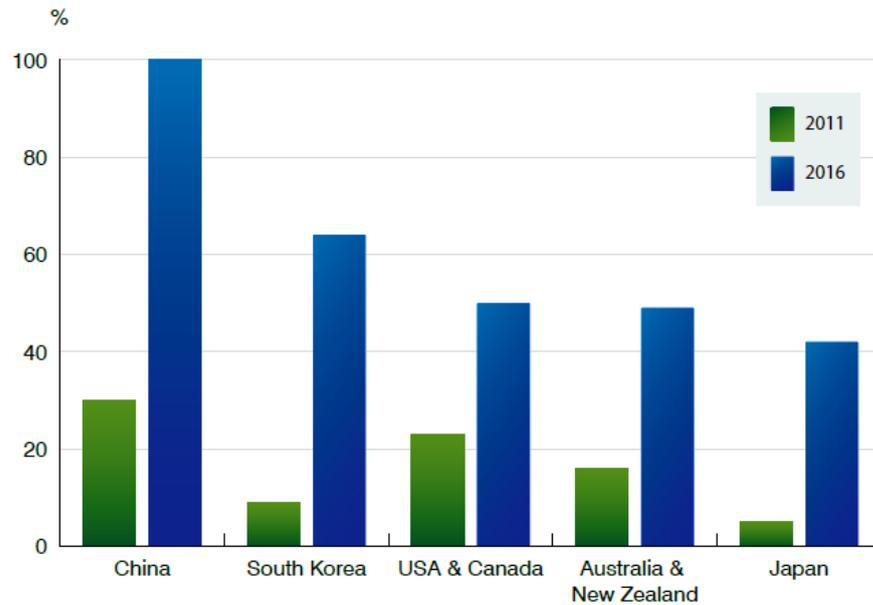


Figura 2.6 - Comparação entre mercados da América do Norte e Ásia - Pacífico. Fonte: (Insight, 2011)

2.2 Objetivos e iniciativas em *Smart Grid* no Brasil

Mesmo o Brasil não tendo grande destaque no cenário mundial em Redes Elétricas Inteligentes (REI), faz parte de um seleto grupo de 25 países emergentes com grande potencial de crescimento, oportunidades e investimentos nos próximos anos. Além do Brasil, fazem parte deste grupo: Bulgária, República Checa, Hungria, México, Polônia, Romênia, Singapura, Eslováquia, Eslovênia, e os Emirados Árabes (News, 2011). Segundo a *Northeast Group*, estes países terão em 2020, um mercado de 49 bilhões de dólares em medição inteligente (News, 2011). As REI representam para os países emergentes uma série de benefícios, como a melhoria nos níveis de confiabilidade do sistema, gerenciamento das diversas fontes alternativas de energia, assim como a redução de perdas técnicas e não técnicas.

Este último benefício influenciou o Brasil a desenvolver alguns dos primeiros projetos em REI, já que se estima uma perda de 15% da energia entre a geração e o consumo, quase o dobro de outros países (Costa, 2012). Logo, este fator apresentava-se como um dos maiores motivadores para a implantação das REI no país. No entanto, devido à expressiva extensão territorial do país, essa motivação varia de acordo com às regiões, fazendo com que os tipos de projetos e tecnologias aplicadas as REI variem bastante, mas em sua maioria focados na substituição dos medidores analógicos de energia por medição eletrônica centralizada e

individualizada, com poucas funcionalidades para a concepção de uma REI (Alcântara, 2011).

Os principais projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de REI estão sendo realizados através de parcerias entre concessionárias, universidades, laboratórios e empresas, visando uma abordagem sistêmica. Isso quer dizer que não só tecnologias e funcionalidades pontuais são testadas, mas principalmente, aplicações integradas de infraestrutura avançada de medição (AMI), automação avançada de rede de distribuição e infraestrutura de multiaplicação de telecomunicações (Hernandes, et al., 2011).

No cenário político – regulatório, observa-se grande evolução nos últimos dois anos em REI, com a realização de inúmeras audiências públicas e a elaboração de diversos estudos, afim de que esta nova tecnologia não seja copiada dos modelos internacionais, mas sim adaptada e compatibilizada com as diferentes necessidades do cenário nacional (Toledo, 2012).

Dentre os avanços regulatórios em *Smart Grid* no Brasil está a criação de um Projeto de Lei em 2012, proposto pelo senado federal estabelecendo diretrizes e prazos para a implantação das REI nas concessionárias e permissionárias de distribuição do país (Maggi, 2012). As diretrizes contemplam características e requisitos mínimos para que o sistema de distribuição torne-se realmente uma REI, com sensores de medição capazes de detectar e prever falha no sistema, sistemas de automação com comunicação segura e bidirecional, e por fim, sistemas de medição responsáveis por criarem o elo entre o prosumidor¹ e a concessionária, base principal para a concepção completa das *Smart Grid*.

Como a medição inteligente é essencial para viabilizar técnica e economicamente as REI, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou em 2010 a Audiência Pública (AP) nº 43 voltada para a regulamentação dos medidores eletrônicos para unidades consumidoras de baixa tensão (ANEEL, 2010a). No Brasil, se tem uma forte tendência na troca dos medidores eletromecânicos por eletrônicos, porém devido à inexistência de determinação regulatória para as funcionalidades mínimas do medidor eletrônico para baixa tensão, faz com que grande parte das distribuidoras realizem implantação destes

¹ Prosumidor – o consumidor possui tanto a função de consumo da energia quanto a produção da mesma.

equipamentos sem agregar muitas das funcionalidades que a tecnologia pode oferecer (Lamin, 2009).

Neste sentido, após o período de estudos, em agosto de 2012 foi aprovado pela ANEEL a Resolução Normativa (RN) nº 502 que prevê requisitos mínimos dos sistemas de medição para consumidores de baixa tensão e prazos para que as concessionárias adotem o sistema (ANEEL, 2012b). Entre os requisitos mínimos estão: medição de energia elétrica em pelo menos 4 postos tarifários, valor da energia ativa acumulada por posto tarifário e identificação do posto tarifário corrente. Estas funcionalidades visam o enquadramento dos consumidores que aderirem à modalidade tarifária branca, assunto melhor detalhado nas próximas seções.

Além destas funcionalidades, o consumidor poderá optar por um sistema de medição com funcionalidades adicionais como: valor de tensão e corrente em cada fase, indicadores de transgressão do nível de tensão (ANEEL, 2012b).

Apesar RN nº 502 propor requisitos mínimos para o medidor eletrônico, é esperado que novas funcionalidades sejam adicionadas visando as REI, como por exemplo, fluxo bidirecional de informações e energia, base para a concepção de uma AMI e não contemplada pela resolução. Logo, torna-se fundamental a definição de um plano de implantação de medidores eletrônicos, trazendo requisitos essenciais para a viabilização dos medidores inteligentes antes de uma aplicação em larga escala de medidores eletrônicos com características e tecnologias que possivelmente virão a ser substituídas.

Os medidores inteligentes permitirão ao consumidor maior eficiência no consumo de energia, pois ele terá maior informação sobre o seu consumo real. Dentre outros benefícios estão: atendimento remoto pela concessionária, melhor monitoramento da rede pela concessionária através de um fluxo de informações entre o consumidor, redução de perdas técnicas e não técnicas, e a oferta de novos serviços aos consumidores (ANEEL, 2012c).

Além dos inúmeros benefícios supracitados, a medição inteligente tornará viável aos consumidores de baixa tensão a oferta de novas opções tarifárias. Este tema será melhor abordado na próxima seção, pois representa um grande avanço para a estrutura tarifária brasileira.

2.3 Estrutura Tarifária Brasileira

As REI oferecerão ao consumidor uma gama de alternativas e tendências tecnológicas que prometem revolucionar a maneira que o consumidor utiliza a energia, gerencia seus gastos e interage com os diversos meios de comunicação. Esta interação se dará primeiramente com a utilização dos medidores inteligentes, que por meio de tarifas dinâmicas, permitirão ao consumidor a possibilidade de um melhor gerenciamento, tanto de seus hábitos de consumo, quanto de suas faturas. As tarifas dinâmicas, ou tarifas horárias, podem ser definidas como um meio de induzir diferentes reações nas cargas, de modo que o carregamento no sistema possa ser otimizado através da dispersão de carga nos horários de maior carregamento, e concentração da mesma em períodos de maior ociosidade do sistema (Toledo, 2012). Contudo, esta alternativa tarifária nem sempre esteve acessível a todos os consumidores, sendo aplicada somente a consumidores de média e alta tensão. No entanto, com a reestruturação do modelo tarifário brasileiro, o consumidor de baixa tensão começa a ser incluído neste tipo de tarifação.

2.3.1 Evolução histórica das tarifas no Brasil

No Brasil a busca por uma maior eficiência do sistema foi dada nos final dos anos 70, a partir da criação de dois grupos tarifários pelo Decreto nº 62.724, estabelecendo uma divisão entre os consumidores pelo nível de tensão e pela atividade desenvolvida (residencial, comercial, industrial, etc.) (ANEEL, 2010e). Nesta divisão, os consumidores com tensão de fornecimento maior que 2,3 kV eram enquadrados no Grupo A e os consumidores atendidos com tensão inferior a esta, no Grupo B. Ainda no mesmo decreto, ocorreu o primeiro sinal de mudança no sentido de uma melhor racionalização da energia, sendo que anteriormente o foco era dado para a expansão e não a eficiência do sistema elétrico. A primeira medida foi estabelecer limites de potência para cada grupo e subgrupo e uma estrutura tarifária binômia para os consumidores do Grupo A (ANEEL, 1968). A estrutura binômia consistia em uma componente de demanda de potência e outra de consumo de energia. Para os consumidores do Grupo B, permanecia uma tarifa monômia, ou seja, constituída apenas da componente de consumo.

Entretanto, apesar da legislação citar a possibilidade da criação de tarifas binômias, foi somente em 1981, com o Decreto nº 86.463, que se iniciou a aplicação

da nova estrutura tarifária. A alteração determinava que os custos do serviço de fornecimento de energia elétrica deveriam ser repartidos entre os componentes de demanda de potência e de consumo de energia, fazendo com que cada grupo de consumidores pagasse pelo que realmente utiliza do sistema (ANEEL, 1981j). Essa alteração abriu um precedente para, finalmente, acontecer a criação das tarifas binômias e, conseqüentemente das tarifas horárias.

Logo, por meio da Portaria nº 46 em 1982, o Ministério de Minas e Energia determinou a criação de tarifas diferenciadas conforme os períodos do ano e os horários de utilização de energia, as chamadas tarifas horo – sazonais.

Nas tarifas horo – sazonais são estabelecidos dois períodos para as horas do dia, denominados de postos tarifários. O posto de “ponta” compreende o período de maior consumo de energia elétrica, que usualmente ocorre entre as 18 e 21 horas, dependendo das características de carregamento da rede da concessionária. O posto “fora da ponta” compreende o conjunto de horas consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta. Para os períodos do ano, tem-se a divisão em “período seco” e “período úmido”, que compreendem períodos de menor e maior precipitação das chuvas, relacionadas com o custo da produção de energia devido aos níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas e com o despacho de geração térmica (ANEEL, 2005l).

As primeiras tarifas criadas foram as Tarifas Horo – Sazonais Azul e Verde. Porém sua aplicação ficou restrita aos consumidores do Grupo A.

Na Tarifa Verde, o consumidor possui tarifas diferenciadas de consumo de energia para os postos tarifários e períodos do ano, bem como uma única tarifa de demanda de potência. Esta tarifa se aplica obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300kW (ANEEL, 2005l). A Figura 2.7 ilustra a estrutura da tarifa verde.

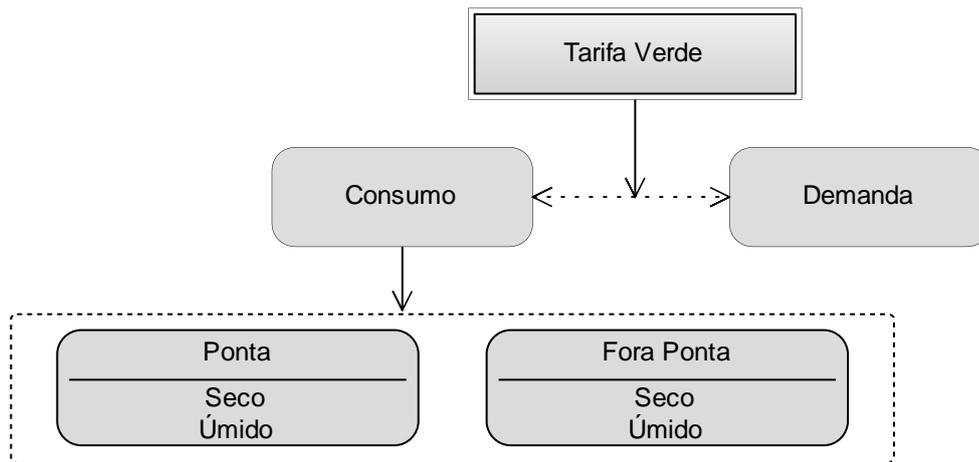


Figura 2.7 - Estrutura da tarifa horo-sazonal verde.

Para a tarifa azul, o consumidor também possui tarifas diferenciadas para os postos horários e o período do ano, porém com tarifas de demanda diferenciadas de acordo com as horas do dia, como ilustra a Figura 2.8. Ela é aplicável obrigatoriamente às unidades consumidoras atendidas com tensão igual ou superior a 69 kV (ANEEL, 2005).

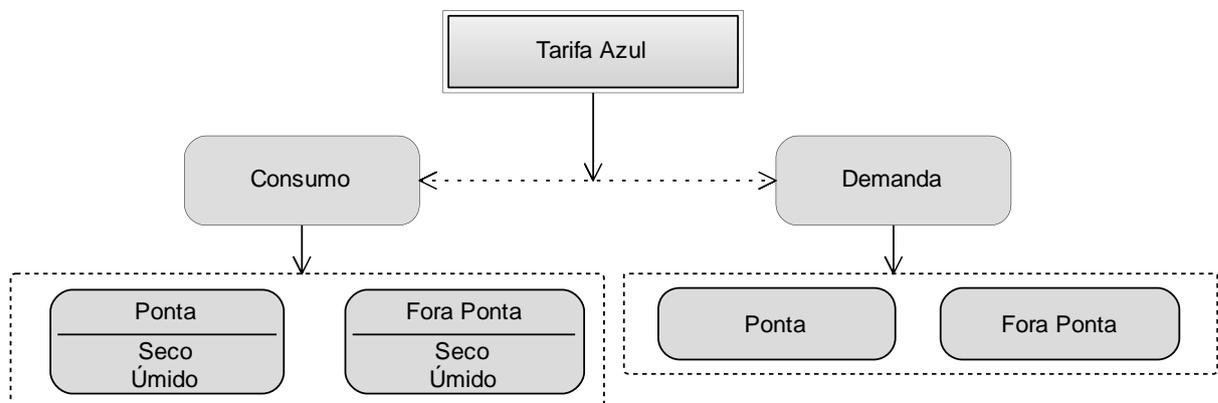


Figura 2.8 - Estrutura da tarifa horo-sazonal azul.

Ainda no grupo A permaneceu uma tarifa convencional, caracterizado pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda independente das horas de utilização do dia (ponta/fora ponta) ou dos períodos do ano (úmido e seco). Para os consumidores do Grupo B a tarifa monômnia continuou sendo aplicada.

Com a desverticalização do setor elétrico nos anos 90 aliado a inúmeros problemas relacionados ao novo modelo institucional e a falta de investimentos ao longo dos anos no setor, estudos apontaram a possível falta de capacidade para atender a ponta de carga do sistema elétrico brasileiro no final da década. Este problema fundamentou e estimulou a procura de propostas que atenuassem o

problema em curto prazo, sendo que uma das alternativas focou-se na racionalização do consumo objetivando a sua redução no horário de ponta e a consequente redistribuição deste consumo nos demais períodos. Essa opção embasou o surgimento do Projeto Tarifa Amarela, a qual tinha o objetivo a viabilização de uma tarifa horária para os consumidores com maior participação na ponta do sistema: os consumidores de baixa tensão (COPEL, 1998).

Diferentes distribuidoras, tais como Copel, Bandeirante, CPFL, Celpa, Cosern e Cemig, realizaram estudos e implantaram projetos-pilotos para consumidores de pequeno porte e pertencentes ao grupo B. Os projetos demonstraram que os consumidores foram motivados a mudar os seus hábitos de consumo pelo sinal preço diferenciado, comprovando que os valores das tarifas eram eficientes no alcance do principal objetivo: estimular a redução e a transferência do consumo de energia. Porém, um dos grandes obstáculos foram os custos relacionados com os sistemas de medição. Ao final dos projetos, algumas distribuidoras solicitaram a efetiva implantação da opção tarifária, o que não ocorreu devido à falta de regulamentação (Lamin, 2009).

2.3.2 Nova estrutura tarifária Brasileira

O cenário tarifário atual torna-se favorável a adoção de novas políticas, pois inúmeras tecnologias estão surgindo e as redes inteligentes contemplam grande parte destas inovações. Como descrito anteriormente, a estrutura tarifária brasileira teve uma evolução em busca da eficiência e otimização dos custos de expansão do sistema elétrico nas últimas décadas. Grande parte destas iniciativas não contemplaram os consumidores de baixa tensão, ou não foram regulamentadas pelo órgão regulador, no caso a tarifa amarela.

Atualmente, o grupo tarifário de baixa tensão é responsável pela maior demanda de recursos do setor de energia elétrica e representa 58% do mercado tarifário brasileiro (ANEEL, 2010d). Este cenário pode ser visualizado na Figura 2.9 pela curva típica de carga destes consumidores em comparação aos segmentos do Grupo A.

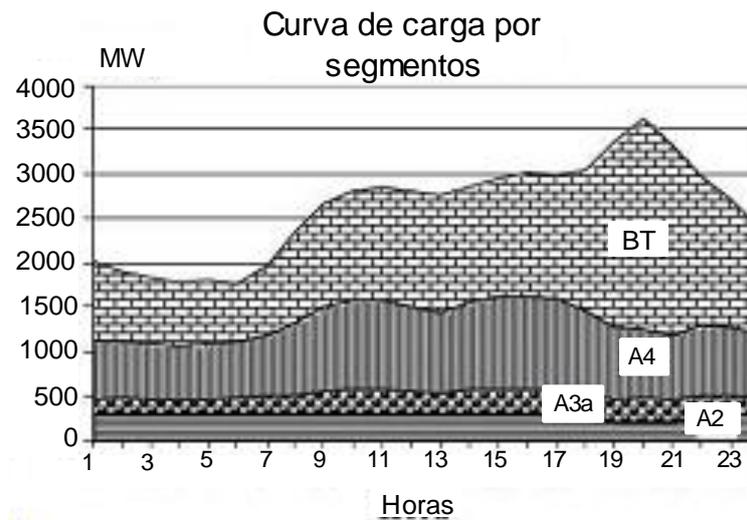


Figura 2.9 - Curva de carga por segmentos de tensão de uma concessionária. Fonte: (Lamin, 2009)

Observa-se que os segmentos do Grupo A (A4, A3a, A2) possuem uma maior uniformidade em seu perfil de consumo, justamente por possuírem maiores alternativas de tarifação e modulação de carga do que o segmento de baixa tensão. Assim, os consumidores de baixa tensão podem ser considerados os maiores responsáveis pela formação da ponta do sistema, fazendo com que o sistema, e por consequência, o capital investido, tornem-se ociosos na maior parte do tempo. A Figura 2.10 mostra os custos marginais de capacidade para os dois grupos tarifários, sendo que os mesmos representam dados hipotéticos, mas se aproximam da realidade de algumas concessionárias do Brasil (Toledo, 2012).

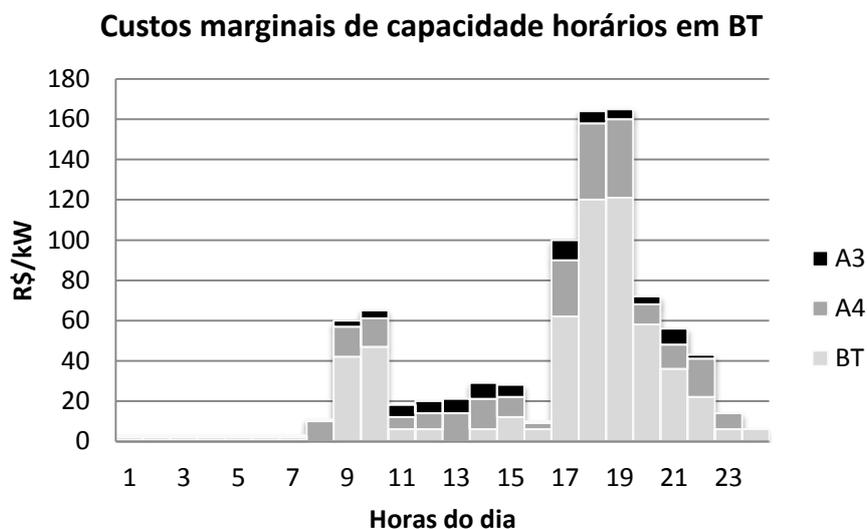


Figura 2.10 - Comparação entre os custos de capacidade horários entre consumidores do Grupo B e Grupo A. Fonte: (Toledo, 2012)

Os custos marginais de capacidade permitem avaliar a responsabilidade dos consumidores conectados em cada nível de tensão nos custos de expansão dos sistemas de distribuição, o que permite inferir quanto e a que hora do dia o consumo de energia acarreta para a distribuidora a necessidade de maiores investimentos no sistema (Toledo, 2012). Neste caso, observa-se que os maiores investimentos nas redes de distribuição ocorrem entre as 17 e as 21 horas devido a participação dos consumidores de baixa tensão. Neste sentido, a aplicação de uma tarifa que melhor represente os custos do sistema torna-se necessária, para que os consumidores alterem seus hábitos de consumo e comecem a ter participação ativa na operação e eficiência do sistema.

2.3.3 Modalidade Tarifária Branca

Visando a inserção dos consumidores de baixa tensão no contexto das Redes Elétricas Inteligentes, por meio de tarifas horárias, a ANEEL abriu em dezembro de 2010 a primeira audiência pública visando o aperfeiçoamento da estrutura tarifária atual. A Audiência Pública (AP) nº 120 abordou diversos estudos que compõem o processo da estrutura tarifária e gerou inúmeras notas técnicas para servir de subsídio à sociedade em geral. Os temas discutidos na AP nº 120 estão mostrados na Figura 2.11.

TEMA I	Custos e Fator Perdas	1. Componentes de custos da tarifa	TEMA III	Sinais Preço	1. Definição de postos tarifários
		a. TUSD Fio A			
		b. TUSD Fio B			
		c. TUSD Encargos Sv Distribuição			
		d. TUSD Encargos Setoriais			
		e. TUSD Perdas			
		f. Tarifa de energia			
	2. Fator de Perdas		2. Sinal horossazonal		
TEMA II	Uso da Rede	1. Metodologia Custo Marginal Capacidade	TEMA IV	Tarifação para BT	1. Postos Tarifários para Baixa Tensão
		1.1. Custo Marginal de Expansão			2. Tarifas: Rural, IP e Demais Classes
		1.2. Proporção de Fluxo			3. Realinhamento da Baixa Tensão
		1.3. Responsabilidade de Potência			4. Discussão tarifária - AS

Figura 2.11 - Temas abordados na AP120 referente a nova metodologia tarifária aplicada as concessionária de distribuição. Fonte: (ANEEL, 2010e)

Os temas discutidos visam a alteração do Módulo 7 dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET) sobre as tarifas aplicadas ao setor de distribuição de

energia elétrica no Brasil. Dentre os temas abordados, está o sinal horário para os consumidores de baixa tensão, a chamada Tarifa Branca. A Tarifa Branca foi proposta com o intuito de estimular o gerenciamento de energia pelos consumidores de baixa tensão nos horários de maior carregamento do sistema, fazendo com que ocorra um deslocamento de energia para horários de menor utilização da rede da concessionária. Desta forma, o sistema sairá beneficiado quanto ao aumento da eficiência e os consumidores quanto a possibilidade de redução em suas faturas.

Este tema foi primeiramente abordado pela Nota Técnica nº 362, a qual apresentou as principais premissas utilizadas na definição deste sinal tarifário, assim como justificativas e aplicações de tarifas horárias em outros países, as chamadas TOU (*Time of Use*). A primeira proposta dividiu a estrutura para a baixa tensão em duas modalidades (ANEEL, 2010d):

- modalidade convencional monômnia, com um preço de consumo de energia em R\$/MWh sem distinção horária, como atualmente é praticado;
- modalidade branca: monômnia, com três preços de consumo de energia em R\$/MWh, de acordo com os postos tarifários.

A mesma ainda estabelecia uma aplicação compulsória para os consumidores residenciais com consumo maior do que 500 kWh e opcional para consumos entre 200 kWh e 500 kWh. Para os subgrupos comercial e industrial, a tarifa seria opcional.

Em 22 de novembro de 2011, por meio da Resolução Normativa (RN) nº 464 e da Nota Técnica nº 311 ficou definida a estrutura tarifária para o Grupo B. A Figura 2.12 mostra as tarifas disponíveis para o consumidor quanto a sua composição (ANEEL, 2011f).



(a)

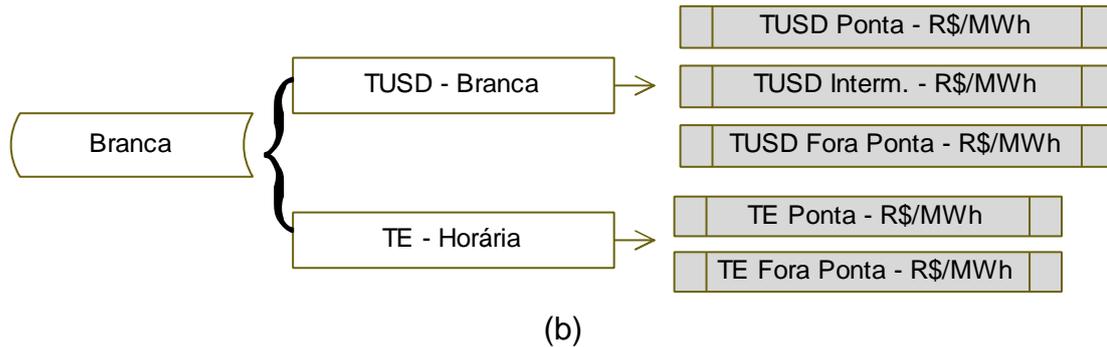


Figura 2.12 - Estrutura tarifária para os consumidores do Grupo B (a) Tarifa Convencional. (b) Tarifa Branca. Fonte: (ANEEL, 2011f)

A estrutura tarifária atual (convencional), aplicada hoje ao consumidor, consiste na soma de duas componentes tarifárias: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE). A primeira dada em R\$/MWh, é relativa ao faturamento mensal dos usuários do sistema de distribuição. A segunda, dada também em R\$/MWh, refere-se ao faturamento mensal de consumo de energia (ANEEL, 2012g). Ambas as componentes não possuem distinção horária.

Com a disponibilização da Tarifa Branca, estas componentes passarão a ter uma sinalização diferenciada de acordo com as horas do dia e que melhor representa os custos reais do sistema de distribuição. Observa-se na Figura 2.12 que há três componentes para TUSD, sendo a sua composição melhor detalhada na próxima seção.

De forma geral, a tarifa branca será opcional para todas as faixas de consumo do Grupo B, com exceção para iluminação pública e subclasse de baixa renda. Nesta nova modalidade, os consumidores que optarem terão uma tarifa mais baixa, na maioria das horas do dia; outra mais alta, no horário em que o consumo de energia atinge o pico máximo, no início da noite; e a terceira, de valor intermediário que será entre esses dois horários (ANEEL, 2011).

As concessionárias que passarem pela revisão tarifária, no período de 2012 a 2014, já terão a tarifa branca aprovada e disponível para o consumidor (ANEEL, 2012g). Porém, como a regulamentação dos sistemas de medição de energia elétrica para consumidores do Grupo B foi aprovada pela ANEEL em abril de 2012, as concessionárias terão um período de 18 meses para adotarem sistemas de medição com requisitos mínimos para a aplicação da tarifa branca, como por exemplo, a medição de energia elétrica ativa em pelo menos 4 postos tarifários

(ANEEL, 2012b). Após este período, que iniciará em 2014, o consumidor poderá optar pela tarifa branca, sendo que as disposições comerciais referentes ao tempo de ligação ou atendimento, por exemplo, estarão sendo discutidas na AP 43/2013 aberta recentemente (ANEEL, 2013j).

2.3.3.1 Componentes da Tarifa Branca

Como observado na Figura 2.12, a tarifa é composta pela soma de duas componentes (TUSD e TE) utilizadas para a composição da tarifa de energia e divididas em três postos tarifários. Na Figura 2.13 é mostrada os postos tarifários da modalidade branca.

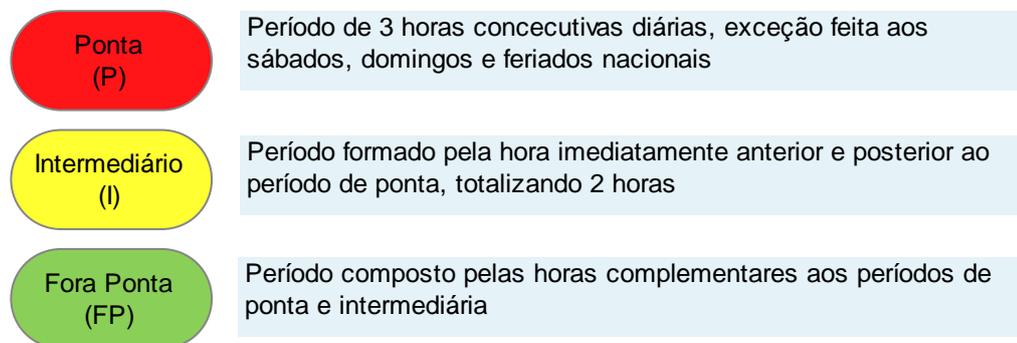


Figura 2.13 - Postos tarifários da modalidade branca. Fonte: (ANEEL, 2011f)

Observa-se, que devido as características de consumo dos consumidores do Grupo B, foi criado um posto intermediário com o intuito de impedir o simples deslocamento de consumo da ponta para um horário inferior ou posterior a este.

Para a construção das componentes TUSD e TE, que formam a base de cálculo para a formação da tarifa aplicada aos consumidores, são utilizados fatores que relacionam os postos tarifários. As relações entre os postos da TUSD ponta e fora ponta e intermediário e fora ponta são mostradas nas Equações (1) e (2), respectivamente (ANEEL, 2012g):

$$\frac{TUSD_{ponta}}{TUSD_{foraponta}} = 5 \quad (1)$$

$$\frac{TUSD_{intermediário}}{TUSD_{foraponta}} = 3 \quad (2)$$

O fator da TUSD fora ponta da tarifa branca é obtido de acordo com a Equação (3) (ANEEL, 2012g).

$$\mathbf{Tusd}_{\text{foraponta branca}} = \mathbf{Tusd}_{\text{convencional}} \times \mathbf{kz} \quad (3)$$

O parâmetro kz é um fator baseado no comportamento típico do consumidor, sendo específico de cada distribuidora e subgrupo tarifário (ANEEL, 2012h). Este parâmetro foi discutido na Audiência Pública nº 29 em virtude de ter sido considerado na AP nº 120 com um valor médio de 0,55 para todas as concessionárias do Brasil.

O incentivo a adesão a tarifa branca, que depende do parâmetro kz , tem uma relação direta de como os consumidores utilizam a rede nos horários de ponta. Notadamente, os consumidores de baixa tensão utilizam a rede de forma diferenciada devido às diferentes características de consumo de diversas classes. Logo, como supracitado, o parâmetro kz passou a ser definido e estruturado de acordo com cada empresa e região. Para a TE será aplicado um fator de 1,72 para ponta e 1 para fora ponta e intermediário (ANEEL, 2012g), sendo que para a tarifa convencional já é aplicado um fator de 1,06.

2.4 Experiências internacionais com tarifas horárias

As tarifas horárias são aplicadas em alguns países sob a denominação de *time of use* (TOU). As tarifas TOU variam de acordo com diferentes períodos do dia, visando refletir situações típicas de fornecimento e demanda de energia em intervalos fixos (Toledo, 2012). Alguns países possuem tarifas implementadas para os consumidores residenciais, como é o caso, por exemplo, do Canadá e da Itália.

No Canadá, uma parceria entre o órgão regulador, concessionária e empresas na área de tarifação horária e medição, resultou em projeto – piloto entre os anos de 2006 e 2007 com o objetivo de avaliar o comportamento do consumidor frente a aplicação de uma TOU (Board, 2007). Os resultados mostraram que 90% dos consumidores que participaram do projeto mudaram parte do seu consumo para horários fora de ponta. Ao final do mês, foram registrados economias de 3% a 6% nas faturas de energia. Para o sistema de distribuição, esta aplicação resultou na diminuição da demanda na ponta do sistema. Com as vantagens decorrentes da aplicação, o órgão responsável decidiu regularizar a TOU, sendo atualmente

disponibilizada por diversas distribuidoras no país (Board, 2013a). Um exemplo da estrutura horária aplicada na província de Ontário é mostrado na Figura 2.14.

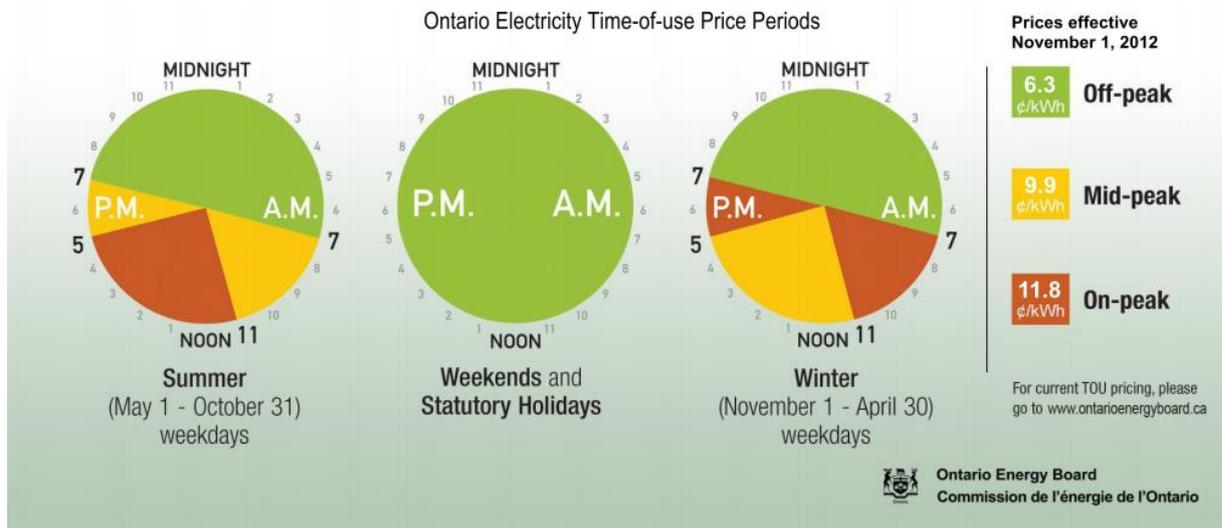


Figura 2.14 - TOU aplicada na província de Ontário. Fonte: (Board, 2013a)

Na Itália, as TOU são aplicadas gradualmente aos consumidores residenciais desde o ano de 2010. No primeiro projeto realizado no país, entre 2009 e 2011, participaram cerca de 4 milhões de consumidores, os quais eram submetidos a duas tarifas durante o dia: uma tarifa mais baixa entre às 7 da noite e às 8 da manhã, e outra mais cara, nos demais horários do dia. Antes do projeto piloto todos os consumidores já possuíam medidores inteligentes com tarifas convencionais. Logo, no primeiro ano do piloto os consumidores foram monitorados considerando uma tarifa fixa durante o dia e no ano seguinte, quanto a aplicação da TOU. Os resultados mostraram, para uma amostra de 1446 consumidores residenciais, que as tarifas foram eficientes no que diz respeito ao deslocamento de consumo para outros horários do dia, porém houve um aumento de 13,56% no consumo final destes consumidores (Torriti, 2012). A Figura 2.15 mostra a curva de carga antes e depois da aplicação da TOU.

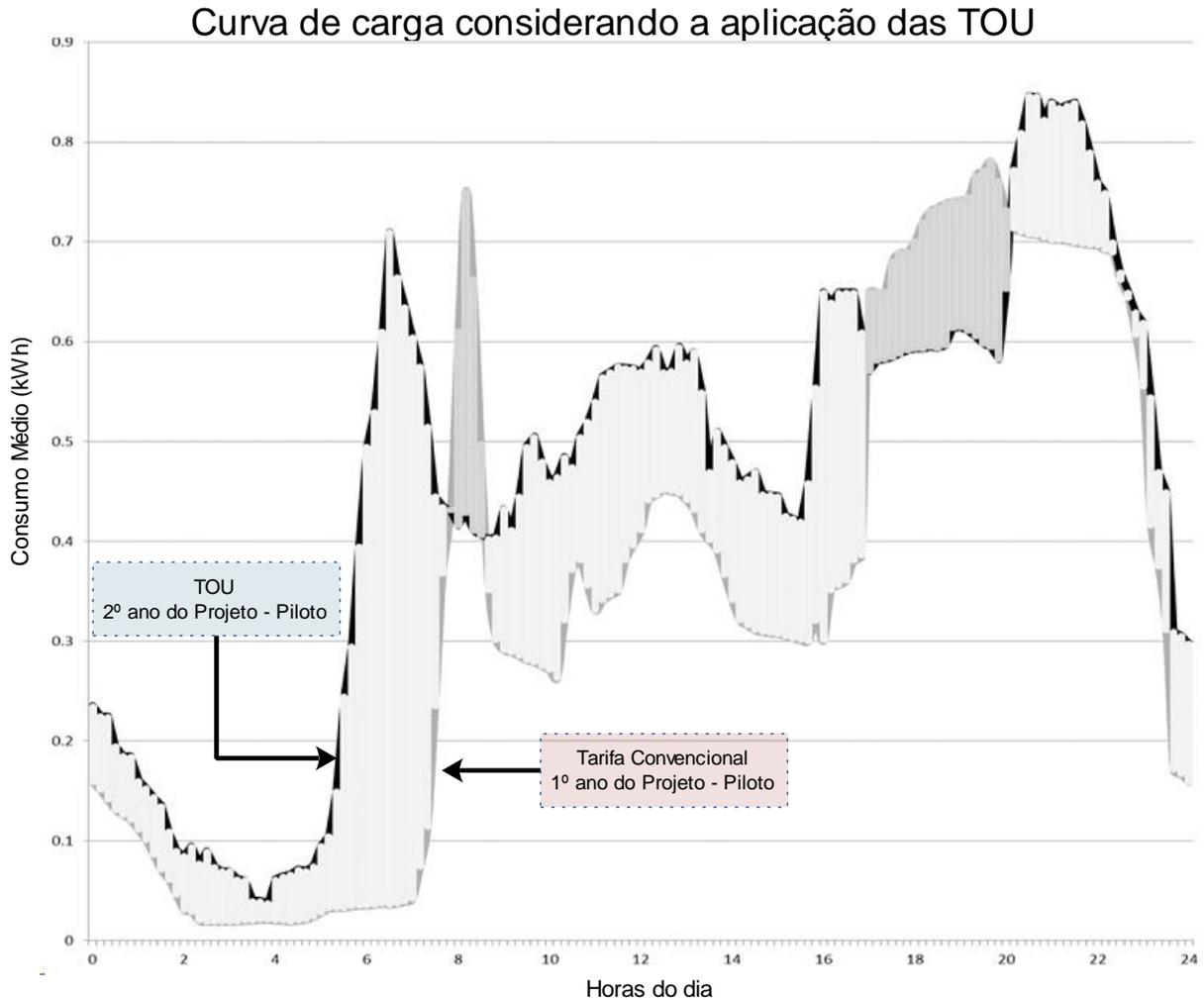


Figura 2.15 - Curva de carga considerando a aplicação de TOU. Fonte: adaptado de (Torriti, 2012)

Observa-se que com a aplicação da TOU (curva tracejada em preto) houve um deslocamento de consumo, evidenciado pelo deslocamento dos picos em cinza escuros antes registrados com uma tarifa fixa. Nota-se que anteriormente havia um pico em torno das 8h e outro entre 18h e 20h. Logo os consumidores foram motivados a deslocar a sua carga durante esses horários, resultando em um pico maior de consumo à noite, por exemplo. Como consequência, muitas subestações da província apresentaram problemas devidos este aumento no pico da curva. Além disso, nos demais horários do dia, houve um aumento de consumo, representado na Figura 2.15 pela diferença (cinza claro) entre as duas curvas.

Países como Portugal, Austrália, Espanha, Suíça e Inglaterra que apresentam sistemas de distribuição modernos, disponibilizam aos seus consumidores tarifas horárias, sendo que algumas disponibilizam tarifas na forma binômia (com limites de potência) e outras com dispositivos para controle de demanda (ANEEL, 2010d). Na

Espanha, por exemplo, o consumidor é penalizado caso não possua um equipamento deste tipo. Na Inglaterra é disponibilizada aos consumidores uma tarifa onde a concessionária pode gerenciar a carga de forma remota por meio de sinais de rádio, PCL (*Power Line Communication*), ou outra tecnologia. Assim, quando necessário, a distribuidora pode desconectar cargas em situações em que seja necessário. Este tipo de tarifa abrange aproximadamente um milhão de consumidores.

2.5 Métodos de simulação

Normalmente o consumidor possui um comportamento padrão de consumo durante o dia, caracterizado pela sua curva típica de carga. Contudo, mesmo em uma curva típica de carga, o grupo de consumidores pertencentes a ela possui comportamentos distintos, devido aos diferentes perfis de consumo, comportamentos e utilização de aparelhos domésticos. Esta imprevisibilidade sobre a demanda de energia aumenta a medida que os conceitos de *Smart Grid*, *Smart Metering* e tarifação horária são apresentados ao consumidor de Baixa Tensão, influenciando diretamente em suas características de consumo e que possivelmente acarretará em uma alteração do perfil de carga atual do sistema.

Como nem sempre é viável avaliar o comportamento de um sistema para uma determinada situação, seja pelo tamanho ou complexidade do mesmo, torna-se necessário a utilização de métodos de simulação. Dessa maneira, métodos de simulação são empregados de modo que o sistema em estudo possa ser melhor avaliado quanto as suas propriedades e características. A simulação envolve a construção de um modelo aproximado da realidade, o qual será operado muitas vezes, analisando-se então seus resultados para que ele possa ser melhor compreendido, manipulado e controlado (Moreira, 2010).

Dentre as vantagens do uso de simulação estão (Andrade, 2011):

- Por meio de simulação podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos em todo o sistema;
- A experiência adquirida em construir modelos e realizar a simulação pode levar a uma melhor compreensão do sistema, o que possibilita melhorá-lo;

- A simulação pode servir como um primeiro teste para se delinearem novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentá-las no sistema real;
- A simulação pode ser usada para experiências com novas situações, sobre os quais se tem pouca ou mesmo nenhuma informação, no intuito de preparar para eventos que possam acontecer.

2.5.1 Método de Monte Carlo

Uma abordagem amplamente conhecida de simulação é o Método de Monte Carlo (MMC). A Simulação de Monte Carlo (SMC) pode ser denominada como um experimento de gerar números aleatórios de qualquer distribuição de probabilidade ou processo estocástico para avaliar de forma numérica, indireta ou artificial um modelo matemático que permite estimar o comportamento de um sistema ou processo que envolve variáveis estocásticas (Zapata, 2010).

Andrade (2011) conceitua o Método de Monte Carlo da seguinte forma (Andrade, 2011):

“Seja x uma variável aleatória com as seguintes características:

- Função de distribuição de probabilidade: $f(x)$
- Função cumulativa de probabilidades: $F(x)$.

Se definirmos uma nova variável aleatória $y = F(x)$, esta tem uma distribuição uniforme sobre o intervalo fechado $(0,1)$. Assim, como a função cumulativa de probabilidades representa as características aleatórias da variável em questão, a função $y = F(x)$ é uma relação entre duas variáveis:

- Variável x , com distribuição aleatória própria;
- Variável y , com distribuição uniforme, entre 0 e 1

O Método de Monte Carlo consiste nos seguintes passos:

- Dada a função cumulativa de probabilidades da variável em simulação $F(x)$, toma-se um número, gerado aleatoriamente, nos intervalos $(0,1)$ ou $(0$ a $100)$.

- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável x que corresponde ao número aleatório gerado.”

Na Figura 2.16 é mostrado um processo de simulação hipotético em termos de frequência absoluta e acumulada.

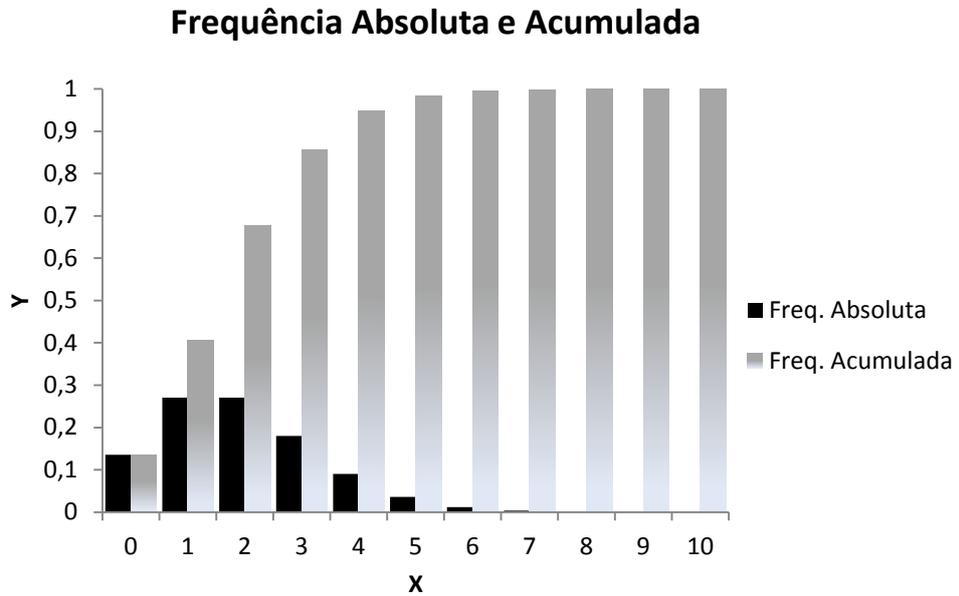


Figura 2.16 - Exemplo de curvas de Frequência absoluta e acumulada. Fonte: adaptado de (Andrade, 2011)

A curva em cinza representa a frequência acumulada ($F(x)$) e a em preto representa a frequência absoluta ($f(x)$). Na Figura 2.17 é mostrado o processo de simulação, onde o sorteio corresponde a variável aleatória $y = F(x)$.

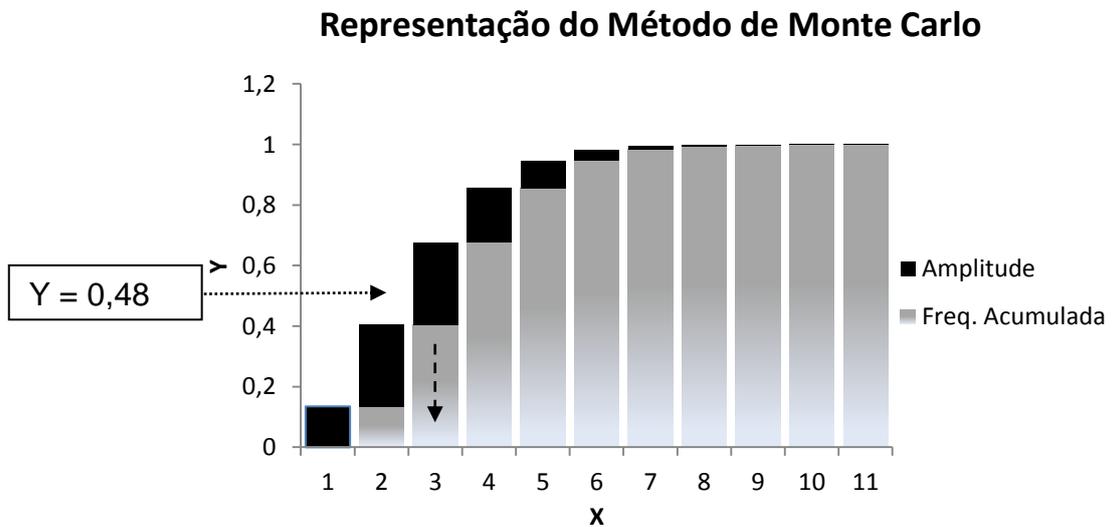


Figura 2.17 - Processo de simulação. Fonte: adaptado de (Andrade, 2011)

Observa-se que a probabilidade de encontrar o número 3 é dada pela amplitude do segmento em preto, que neste caso corresponde a uma probabilidade de 0,2706. De maneira a exemplificar o MMC no Apêndice A é mostrado outro procedimento de simulação baseado em Moreira (2011).

A base do método de simulação de Monte Carlo é a geração de números aleatórios. Os números aleatórios de qualquer distribuição são gerados utilizando números aleatórios uniformes, designados com a letra U, que devem cumprir as seguintes propriedades (Zapata, 2010):

- Uniformidade: pertencem a uma distribuição de probabilidade uniforme definida entre 0 e 1.
- Independência: os números gerados não têm relações entre si.

Para a estimativa do número de experimentos, pode ser adotado a Lei dos Grandes Números. Esta lei descreve que a representatividade de uma amostra depende do número de experimentos que são realizados. Para a SMC, a lei garante, que os experimentos de um processo de simulação tenderão a reproduzir a probabilidade verdadeira do evento (Andrade, 2011).

O próximo capítulo apresenta a caracterização do mercado de Baixa Tensão, dando ênfase aos consumidores residenciais por representarem uma parcela significativa no mercado tarifário brasileiro. Também, a inserção dos consumidores residenciais no contexto das REI é assunto de grande desafio quanto as novas possibilidades da medição inteligente, com a viabilização da tarifa horária, por exemplo, que promete mudar significativamente o modo como o consumidor utiliza sua energia elétrica.

3 HÁBITOS DE CONSUMO RESIDENCIAIS

Os consumidores de baixa tensão representam 58% do mercado tarifário brasileiro, e inferem ao sistema elétrico maiores custos de expansão devido a concentração de consumo em determinados horários do dia. Esta concentração, discutida no capítulo anterior, pode ser justificada por uma estrutura tarifária baseada apenas no consumo de energia, não objetivando o uso e a eficiência do sistema elétrico. A Resolução Normativa nº 414 da ANEEL divide o grupo de baixa tensão (Grupo B) em subgrupos tarifários, ilustrados na Figura 3.1 quanto a sua composição no mercado de baixa tensão.

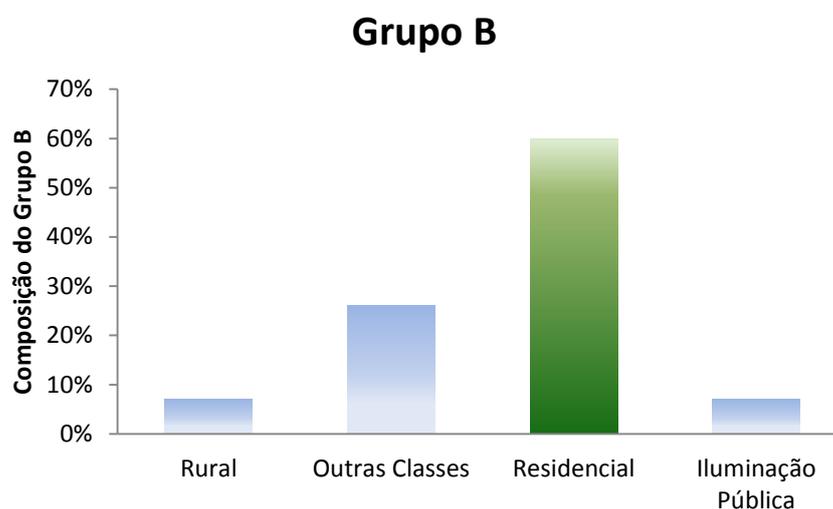


Figura 3.1 - Composição do grupo de baixa tensão. Fonte: (ANEEL, 2010d)

Pode-se observar que do mercado de baixa tensão, 60% é formado por consumidores residenciais (ANEEL, 2010d). Logo, devido a grande participação dos consumidores de baixa tensão no mercado de energia brasileiro, e conseqüentemente, dos consumidores residenciais, os mesmos podem ser considerados os maiores responsáveis pelos custos de expansão do sistema de distribuição, notando-se a importância de analisar os hábitos e características de consumo desta classe de forma a nortear ações que visam uma melhor eficiência do uso da energia por estes consumidores. e, prepará-los para as novas tendências tecnológicas.

3.1 Avaliação dos hábitos de consumo de consumidores residenciais no Brasil

A caracterização das cargas residenciais torna-se importante pelo fato de se ter maior conhecimento sobre os hábitos de consumo do consumidor e direcionar medidas que o auxiliem a uma maior eficiência do uso do sistema de distribuição, assim como na utilização de seus equipamentos. Com o surgimento de novas alternativas tarifárias e as possibilidades da medição inteligente, os consumidores poderão auferir redução em suas faturas com um maior conhecimento de seus hábitos de consumo, além de beneficiar o sistema como um todo.

A Eletrobrás juntamente com o Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), implementaram o Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (PROCEL INFO) com intuito de manter uma base de conhecimentos dinâmicos sobre eficiência energética no país. O PROCEL INFO disponibiliza o Sistema de Informações de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos (SINPHA), o qual é uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de apresentar indicadores dos hábitos de consumo e utilização de equipamentos oriundos de pesquisas realizadas pela Eletrobrás no ano de 2005 (INFO, 2012). Esta pesquisa abrange vários mercados, como o residencial, comercial e industrial (média tensão) e poderes públicos (média tensão). A pesquisa contemplou 17 estados e o Distrito Federal, com a participação de 14 empresas. Foram aplicados 14.442 questionários, representando cerca de 92% do mercado consumidor de energia elétrica, sendo que no segmento residencial foram aplicados 9.847 questionários (INFO, 2012).

O SINPHA permite a simulação e manipulação *online* dos dados apenas do segmento residencial do país, sendo que sua interface é ilustrada na Figura 3.2. Na coluna da esquerda são mostrados os equipamentos disponíveis para análise, assim como detalhes da amostra considerada. Também é possível alternar a região de análise (Sul, Sudeste, Centro Oeste, Nordeste e Norte) ou Brasil.

Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo

Alternar Regiões/Empresa: BRASIL Ano de referência: 2005

Bem Vindo

Região/Empresa: BRASIL | Ano de referência: 2005

O Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos – SINPHA, foi desenvolvido para apresentar os indicadores obtidos a partir dos dados das Pesquisas de Posse e Hábitos de Consumo de Energia – PPH, e possibilitar cruzamentos dos dados da pesquisa, simulações da curva de carga e do impacto de projetos de substituição de lâmpadas.

Estão disponíveis no SINPHA os indicadores do segmento residencial baixa tensão das pesquisas realizadas pela Eletrobrás/Procel nos anos de 1997 e 2005. As informações são exibidas em termos absolutos e percentuais e, sempre que possível, é feita a expansão para a população correspondente. Os resultados podem ser visualizados em gráficos e tabelas.

Os dados agregados em regiões e Total Brasil de 2005, são de livre acesso para todos os usuários; os dados específicos das concessionárias de distribuição de energia de 1997 e 2005, só são acessados por pessoas autorizadas pelas mesmas.

Como utilizar:

- No menu superior:
 - Selecione a região/empresa
 - Selecione o ano da pesquisa entre os disponíveis para a região/empresa selecionada
- No menu lateral selecione as opções de indicadores ou simuladores desejados.

Observação: Todos os dados apresentados, e os utilizados nos simuladores, refletem as opções selecionadas no menu superior; para alterá-las, basta fazer nova seleção.

Figura 3.2 - Interface do SINPHA. Fonte: (INFO, 2012)

Neste sistema é possível aferir dados de hábitos de utilização de vários equipamentos, como aparelhos de TV, ar condicionado, chuveiros elétricos, refrigeradores e freezers, assim como uma estimativa total de equipamentos para cada faixa de consumo. Também é possível obter informações quanto a condições socioeconômicas e de moradia dos consumidores pertencentes a cada região, além da possibilidade de customização de dados através de cruzamentos e obtenção de curvas de carga de equipamentos.

De modo a visualizar uma das funcionalidades do sistema, a Figura 3.3 mostra uma curva de carga média agregada de consumo por equipamento obtido pelo SINPHA. A mesma pode ser interpretada como sendo a divisão da curva diária típica da classe residencial do país ou da região, respectivamente, pelo número de consumidores atendidos, ou, ainda, reflete o consumo diário de energia elétrica de tal consumidor, considerando as frações dos equipamentos possuídos e expandidos para o universo de consumidores (PROCEL, 2007).

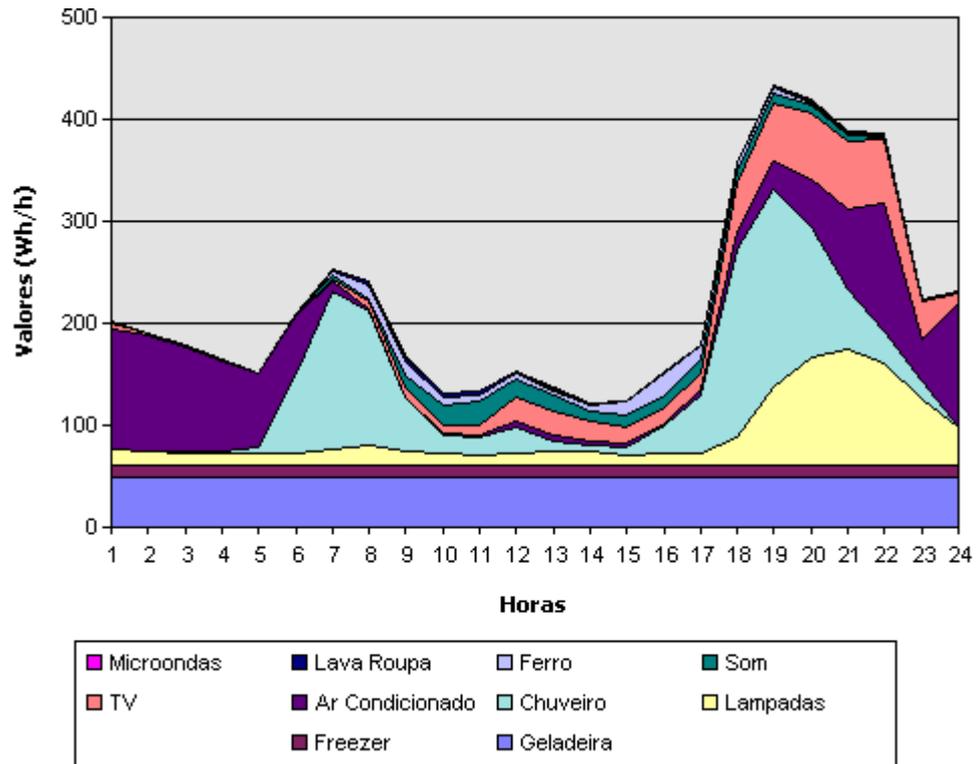


Figura 3.3 - Curva de carga de equipamentos para os consumidores residenciais brasileiros. Fonte: (INFO, 2012)

Nesta curva, nota-se que o eixo Y é dado em (Wh/h), que representa a fração que cada equipamento é utilizado no período considerado. Observa-se que os equipamentos possuem uma participação diversa na ponta do sistema, resultado dos diferentes perfis de utilização e características de uso de cada região do país. A Tabela 3.1 mostra a participação média quanto ao consumo final, assim como a participação individual dos equipamentos na ponta do sistema elétrico.

Tabela 3.1 - Características de utilização de equipamentos no setor residencial Brasileiro.

Equipamentos	Percentual de participação no consumo final	Percentual de composição na ponta
Chuveiro	24%	43%
Iluminação	14%	17%
Geladeira/Freezer	27%	14%
Televisor	9%	13%
Ar condicionado	20%	7%
Som	3%	2%
Ferro	3%	2%

Fonte: (ANEEL, 2010d).

Observa-se que alguns equipamentos apresentam grande contribuição no consumo final residencial, como é o caso da geladeira e do freezer (27%), porém os

mesmos possuem pouca participação na ponta do sistema e tendem a serem equipamentos de difícil modulação na ponta já que atualmente grande parte não possui meios de gerenciamento automático ou inteligente. A iluminação, que possui uma participação individual de 17% na ponta do sistema, é outro meio de difícil modulação, devido a sua utilização estar relacionada a iluminação natural do ambiente ou a fisiologia do sono. (ANEEL, 2010d) A Figura 3.4 mostra a curva de carga da iluminação em comparação com o chuveiro elétrico, a carga com maior contribuição na ponta do sistema e com maior potencial de modulação devido à possibilidade de alteração nos hábitos de utilização.

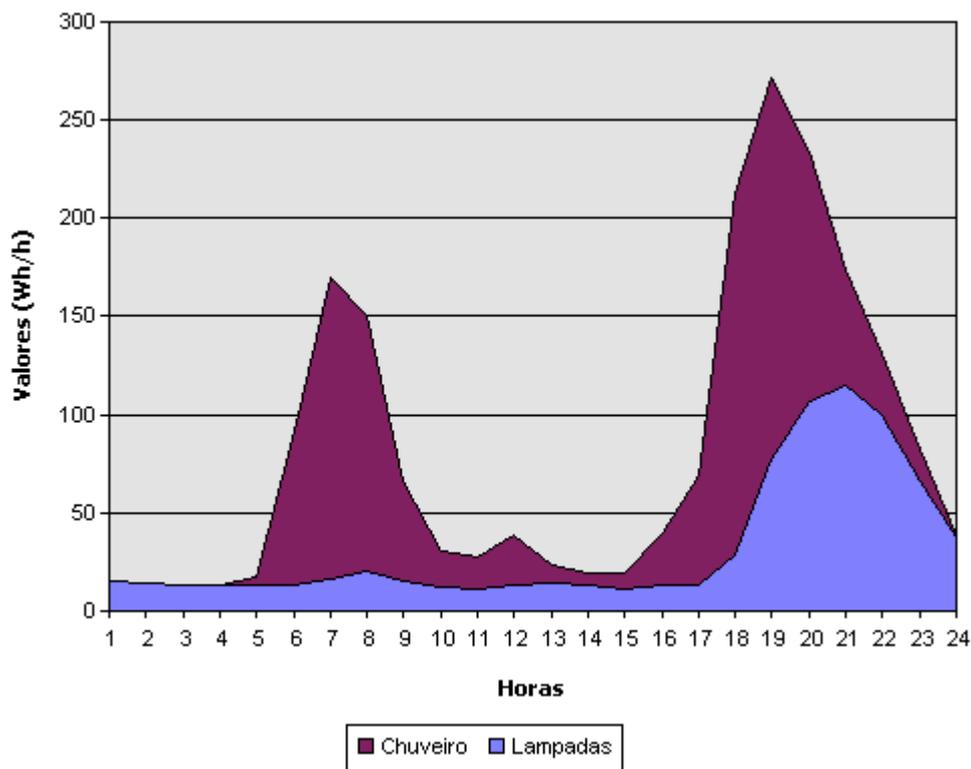
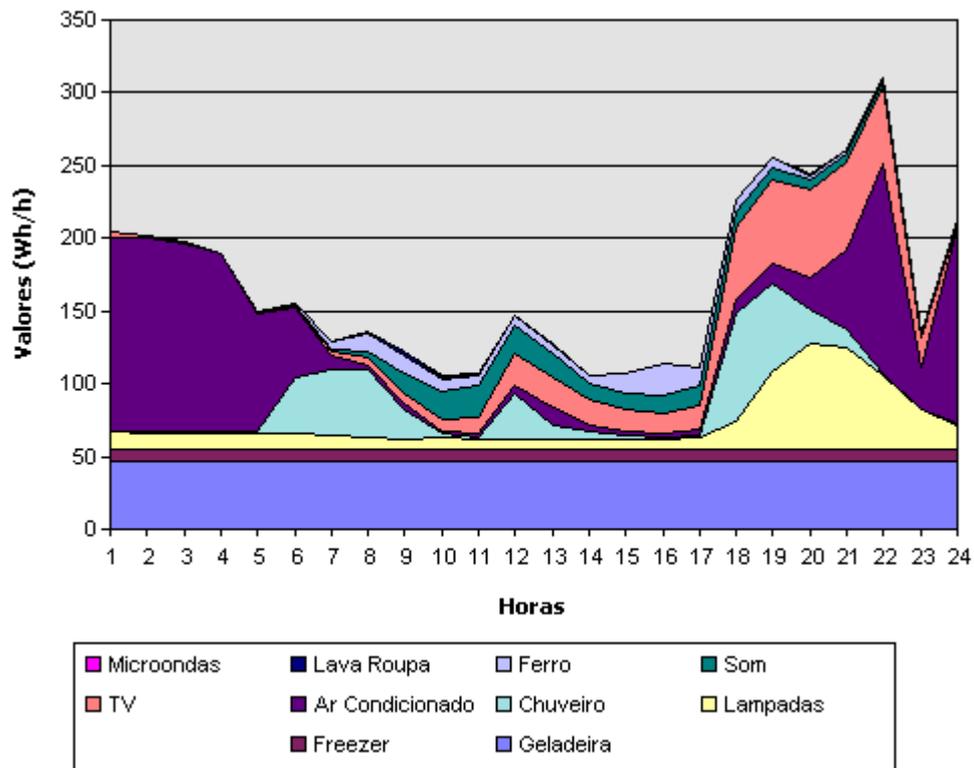


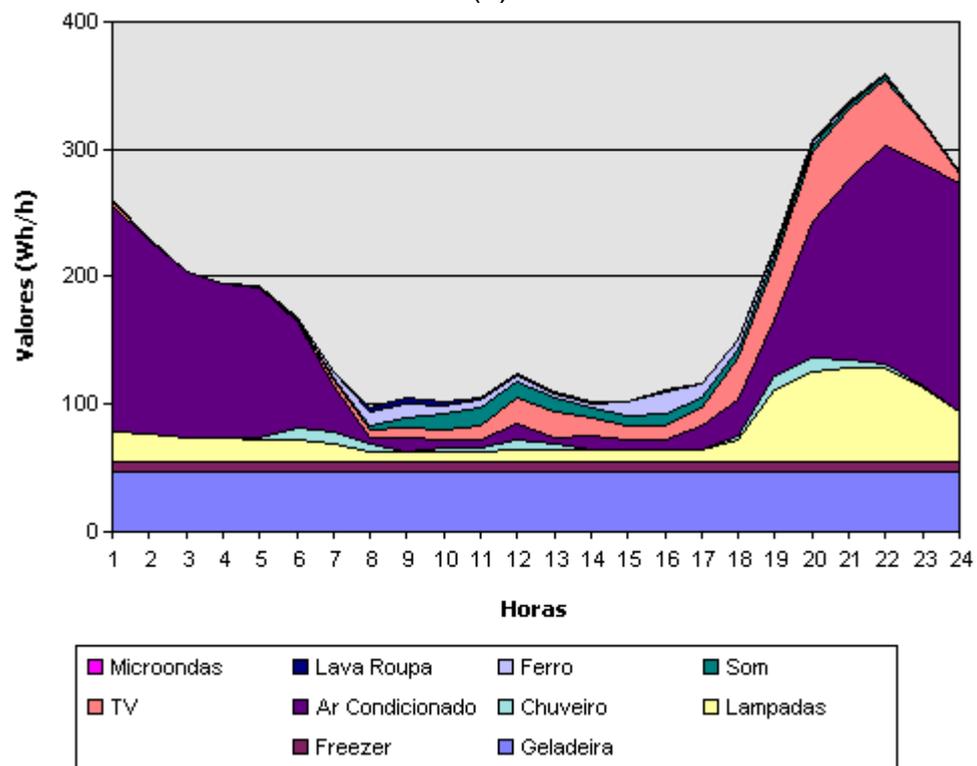
Figura 3.4 - Comparação entre a curva de carga do chuveiro elétrico e iluminação. Fonte: (INFO, 2012)

O chuveiro elétrico contribui com 43% para a formação da ponta instantânea do sistema de baixa tensão, sendo que é o responsável por 24% do consumo final dos consumidores residenciais. Este meio de aquecimento representa quase uma totalidade nos domicílios brasileiros, possuindo um baixo custo de instalação inicial comparado a outros meios de aquecimento da água, como, por exemplo, o aquecimento solar. Ressalta-se ainda, que a contribuição na ponta do sistema de cada equipamento difere de acordo com a região do país, resultado das grandes diferenças climáticas, culturais e socioeconômicas de cada região. De modo a

visualizar estas diferenças a Figura 3.5 mostra as curvas médias de carga para as regiões Nordeste e Norte.



(a)



(b)

Figura 3.5 - Curva de carga média de equipamentos por região do país.(a) Nordeste; (b) Norte. Fonte: (INFO).

Observa-se que nas regiões Nordeste e Norte o aparelho de ar condicionado possui uma maior participação na ponta do sistema, chegando a ter uma representatividade de 40% e 20% no consumo final desses consumidores, respectivamente (PROCEL, 2007). O chuveiro elétrico, o qual possui a maior participação na ponta considerando a média brasileira, representa para estas regiões apenas 2% e 9% no consumo final, relacionado com o clima típico destas regiões (PROCEL, 2007). A Figura 3.6 mostra a comparação entre a utilização do chuveiro elétrico e o ar condicionado para a região Nordeste.

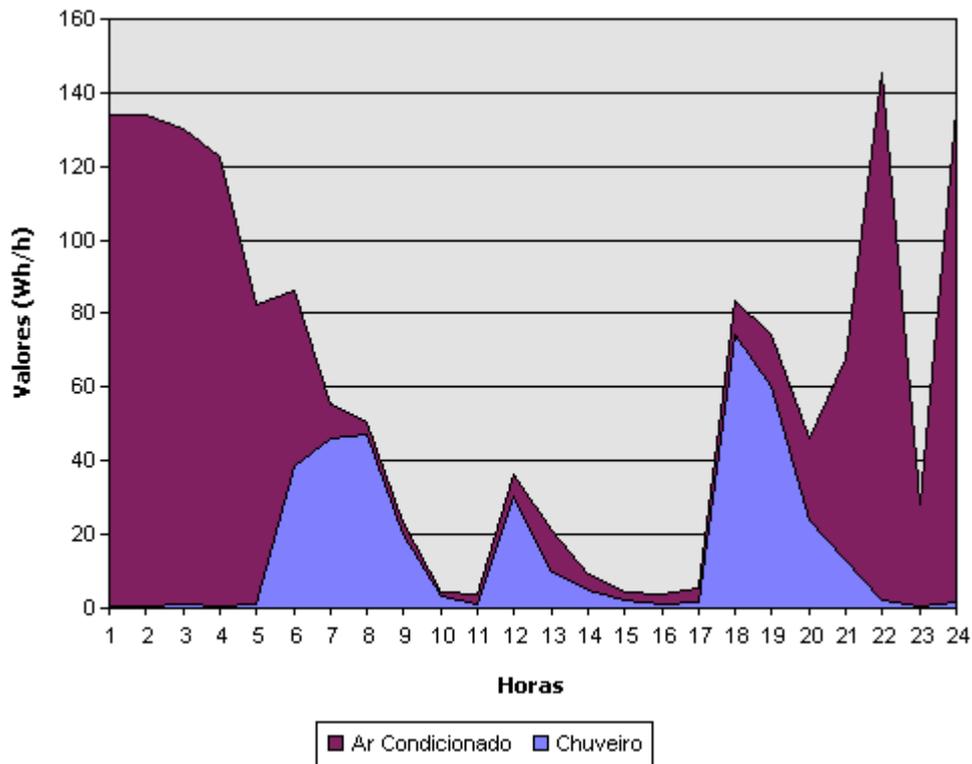


Figura 3.6 – Comparação entre as curvas de carga do chuveiro elétrico e do ar condicionado para a região Nordeste. Fonte: (INFO, 2012)

Nota-se que o pico de utilização dos dois equipamentos ocorre em horários diferentes, com menor contribuição do chuveiro elétrico. Diferentemente da região Norte, o pico de utilização do chuveiro elétrico é pequeno considerando o nível de utilização de condicionadores de ar nesta região. A Figura 3.7 mostra a comparação entre essas duas cargas.

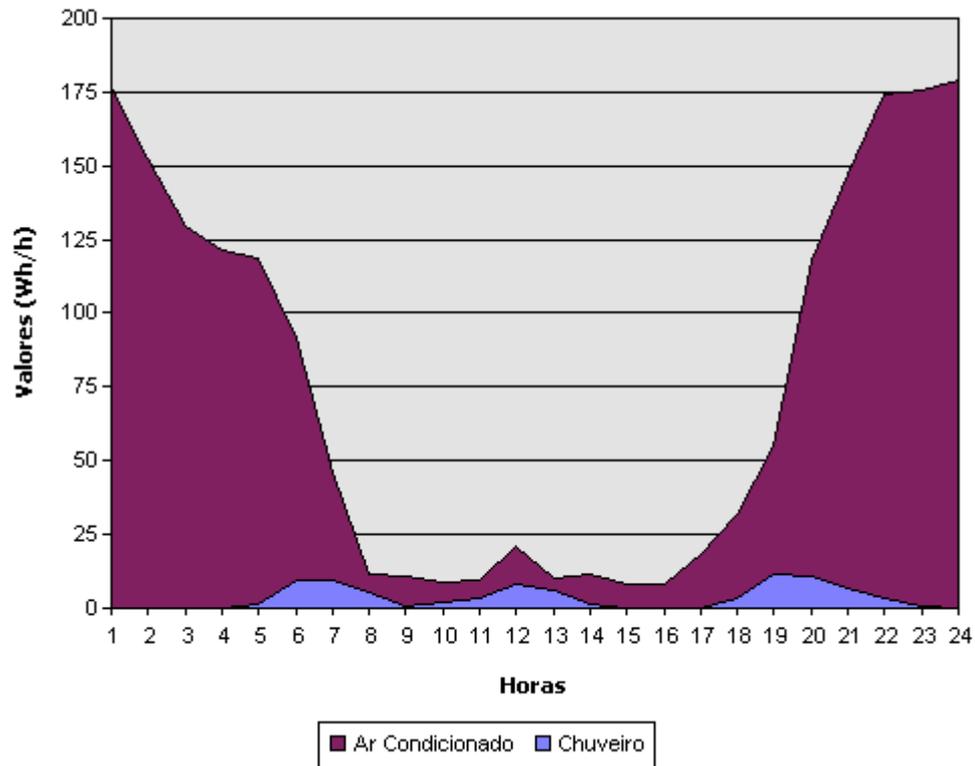


Figura 3.7 – Comparação entre as curvas de carga do chuveiro elétrico e ar condicionado para a região Norte. Fonte: (INFO, 2012)

Em contrapartida, nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul, o chuveiro elétrico possui grande representatividade, tanto no consumo final quanto na ponta do sistema, como mostram as Figuras 3.8, 3.9 e 3.10. Observa-se, nestas regiões, o surgimento de um segundo pico de consumo, pelo horário da manhã, associado a utilização do chuveiro elétrico neste período. Dá-se destaque para a região sul do país, que possui a maior contribuição dentre as regiões, de modo que na próxima seção são mostrados os hábitos de utilização do chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil.

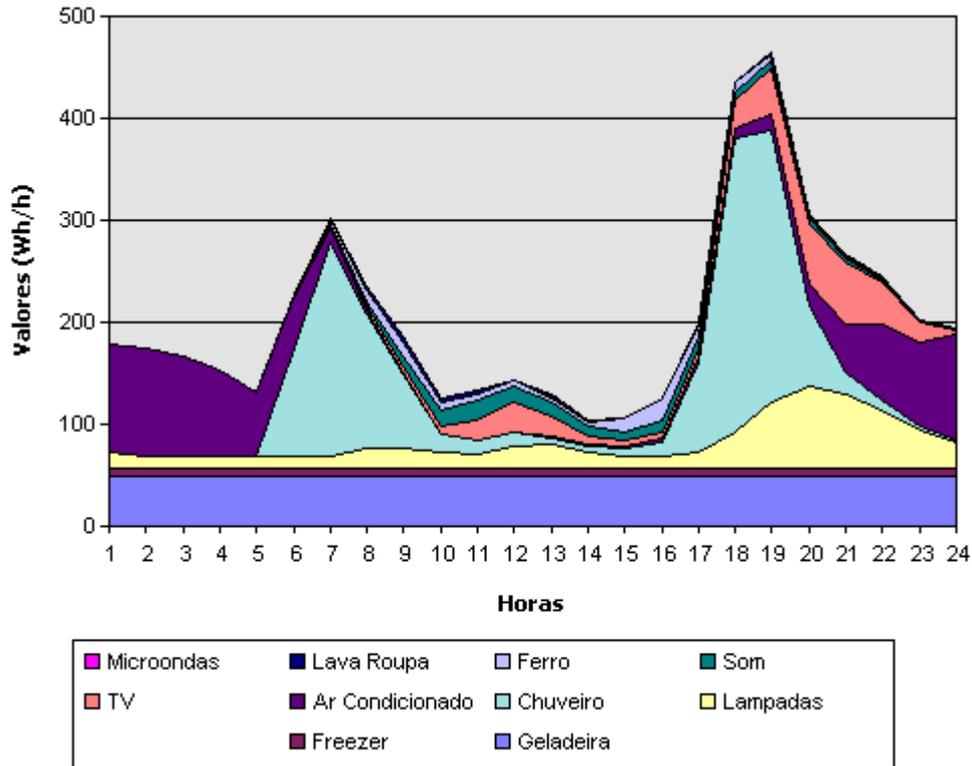


Figura 3.8 – Curva de carga média por equipamentos para a região Centro Oeste do país. Fonte: (INFO, 2012)

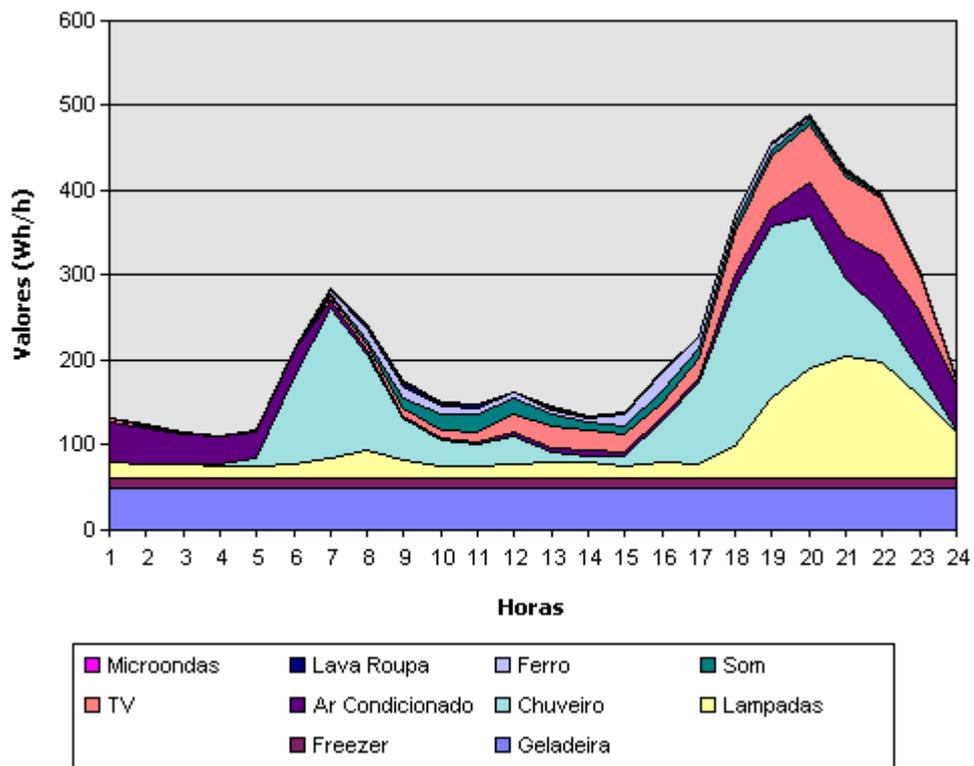


Figura 3.9 – Curva de carga média de equipamentos para a região Sudeste do país. Fonte: (INFO, 2012)

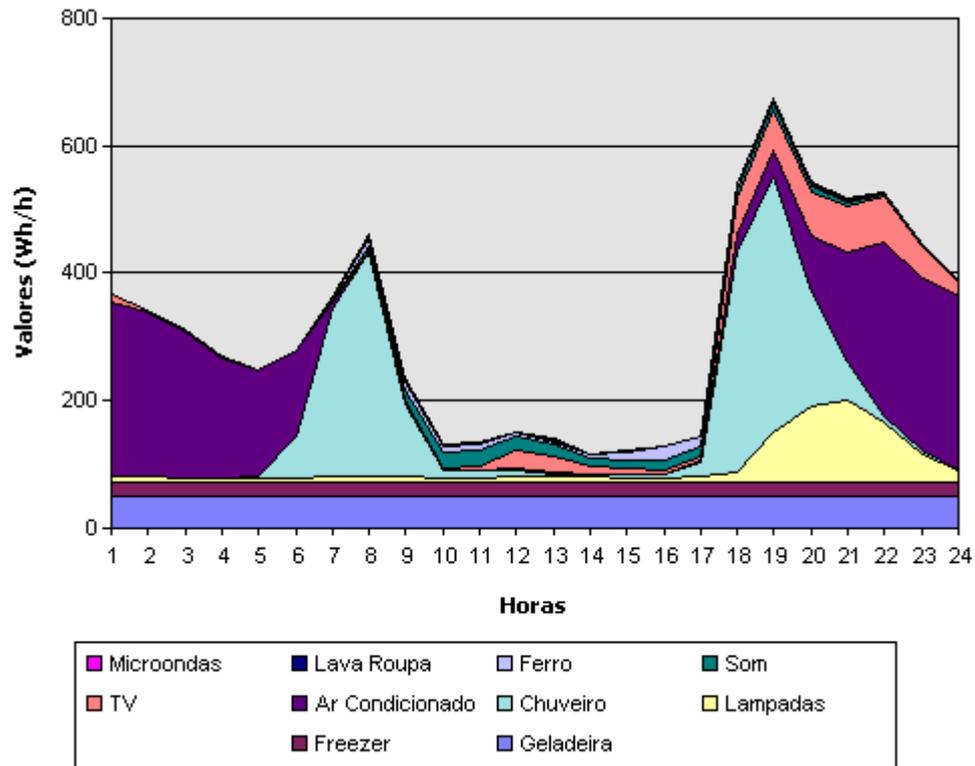


Figura 3.10 – Curva de carga média de equipamentos para a região Sul do país. Fonte: (INFO, 2012)

3.2 Caracterização dos hábitos de utilização do chuveiro elétrico na Região Sul do país

A curva de carga dos equipamentos na Região Sul do Brasil, apresenta o chuveiro elétrico como o principal responsável pela ponta do sistema, sendo que a Figura 3.11 mostra de forma individual este equipamento. Nota-se que o chuveiro elétrico possui dois picos de consumo associados aos hábitos e comportamentos dos consumidores durante o dia: um pico pela manhã; caracterizado pelo banho antes da saída para a jornada de trabalho e um pico entre 17 e 21 horas, associado a chegada dos trabalhadores em suas residências.

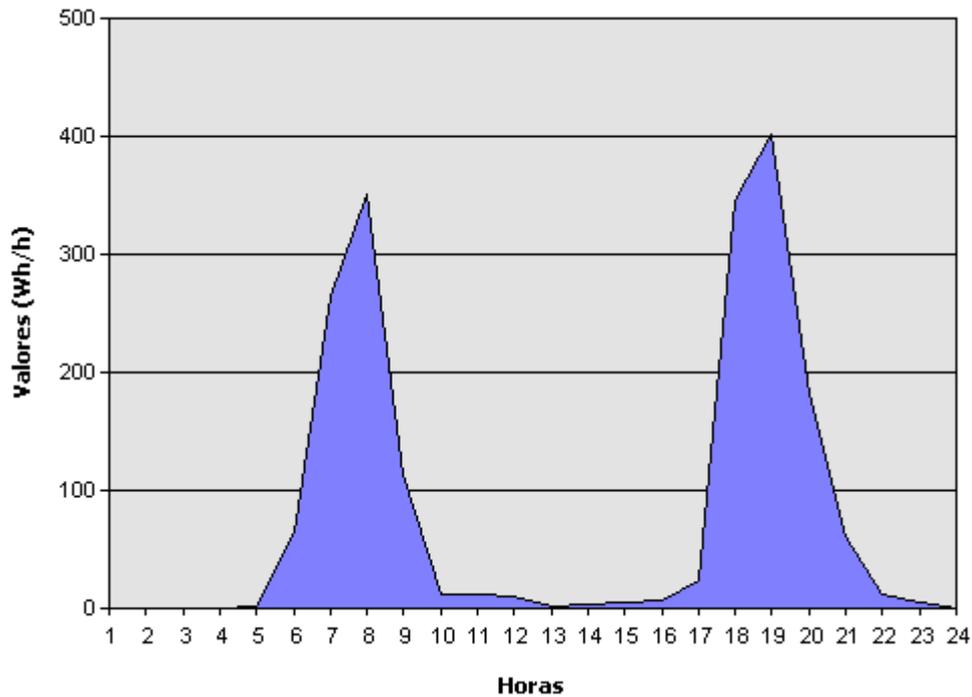


Figura 3.11 - Curva de carga do chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil. Fonte: (INFO, 2012)

A Figura 3.12 mostra a concentração de energia por posto tarifário, ilustrando a utilização do chuveiro elétrico por períodos do dia.

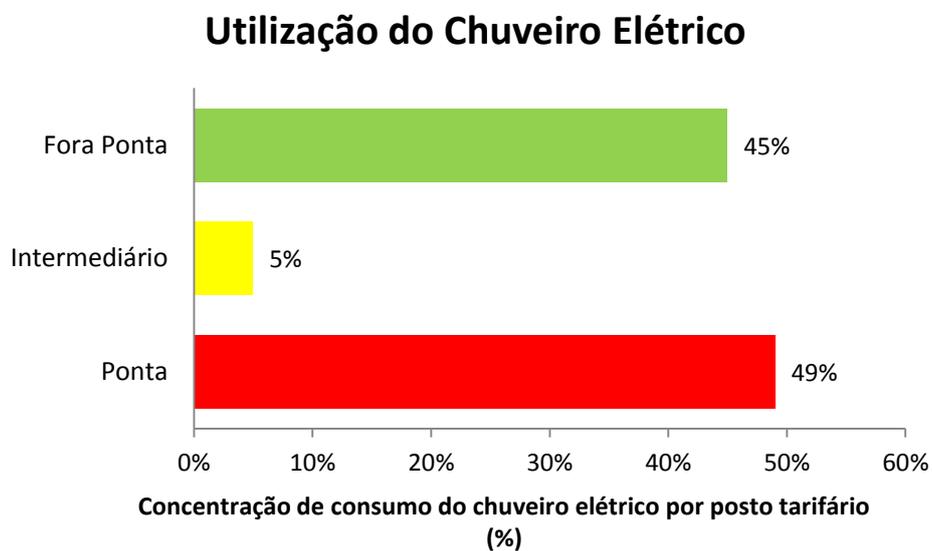


Figura 3.12 - Concentração de consumo do chuveiro elétrico por posto tarifário. Fonte: (INFO, 2012)

A ilustração por posto tarifário evidencia a grande concentração de consumo do chuveiro elétrico no horário de ponta do sistema, o que se torna negativo do ponto de vista do sistema elétrico, pois diversas cargas de menores contribuições

são acionadas simultaneamente no horário de ponta, como, por exemplo, a iluminação, televisores, etc.

Considerando as possibilidades da tarifação horária, estas características de consumo tendem a serem alteradas em função de um sinal tarifário mais elevado nos horários de ponta e intermediário, induzindo o consumidor a mudar os seus hábitos de consumo. Além disso, os consumidores que optarem por este tipo de tarifação poderão ter acréscimos em suas faturas, caso desconheçam o grau necessário de modulação a ser realizado e as medidas a serem tomadas para que os efeitos de uma nova metodologia tarifária não sejam desencorajadores.

Neste sentido, o detalhamento de utilização do chuveiro elétrico torna-se necessário, para que se obtenha um panorama de uso que sirva de base para estudos, buscando uma melhor visão e adequação dos consumidores a esta nova modalidade tarifária. Deste modo, por meio do SINPHA, serão verificados indicadores de utilização do chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil, como o tempo de banho, quantidade de chuveiros por potência, frequência de uso e redução incentivada de consumo na ponta. Através destes dados pode-se obter informações quanto ao consumo de cada banho e a predisposição do consumidor em mudar seus hábitos quanto a aplicação de uma tarifa horária.

3.2.1 Características de utilização de chuveiro elétrico na Região Sul do Brasil

Para caracterizar a utilização do chuveiro elétrico, foram considerados os seguintes indicadores:

- Tempo médio de banho;
- Quantidade de chuveiros por potência;
- Frequência de uso; e
- Redução na ponta incentivada.

O SINPHA fornece os dados divididos por faixa de consumo, sendo disponibilizadas as seguintes faixas: 0 a 50 kWh, 51 a 100 kWh, 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh, 301 a 500 kWh e consumo maior que 500 kWh.

3.2.1.1 Tempo médio de banho

O tempo médio de banho é definido como a duração média dos banhos nos domicílios dos clientes residenciais (INFO, 2012). A Figura 3.13 mostra o tempo médio de banho para cada faixa de consumo, sendo que o eixo horizontal representa o percentual de clientes de cada faixa de consumo quanto ao tempo médio de utilização do chuveiro. As variáveis NA, NS e NR correspondem a valores não aplicáveis (NA) a faixa considerada, ou consumidores que não sabiam (NS) ou não responderam (NR) aos questionários aplicados pela pesquisa.

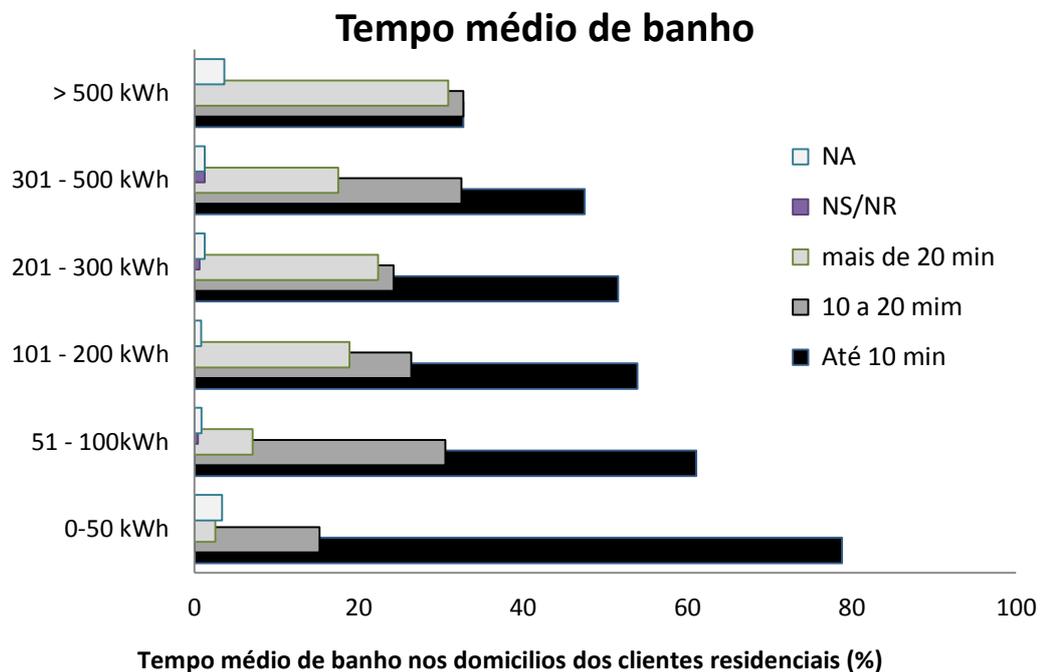


Figura 3.13 - Tempo médio de banho Fonte: (INFO, 2012).

Observa-se que o tempo médio de banho de 10 minutos é mais representativo para as faixas de 0 a 500 kWh, com exceção para os consumidores com consumo superior a 500 kWh, onde a proporção dos consumidores que tomam banho de até 10 minutos se equivale aos consumidores com tempo médio de banho entre 10 e 20 minutos. Nota-se, por exemplo, que para a faixa de 0 a 50 kWh cerca de 80% dos consumidores possuem um tempo médio inferior a 10 minutos, este índice fica em torno de 30% para os consumidores enquadrados na faixa superior a 500 kWh. Deste modo, ressalta-se a relação existente entre o tempo de banho e o padrão de consumo de cada consumidor, ou seja, há uma menor preocupação com o tempo de banho à medida que aumenta o consumo do cliente, muitas vezes relacionado ao nível de conforto ou a renda dos consumidores.

3.2.1.2 Quantidade de chuveiros por potência

A quantidade de chuveiros por potência é definida como a potência de chuveiros elétricos mais utilizados nos domicílios dos clientes residenciais. A Figura 3.14 mostra a potência de chuveiros para cada faixa de consumo.

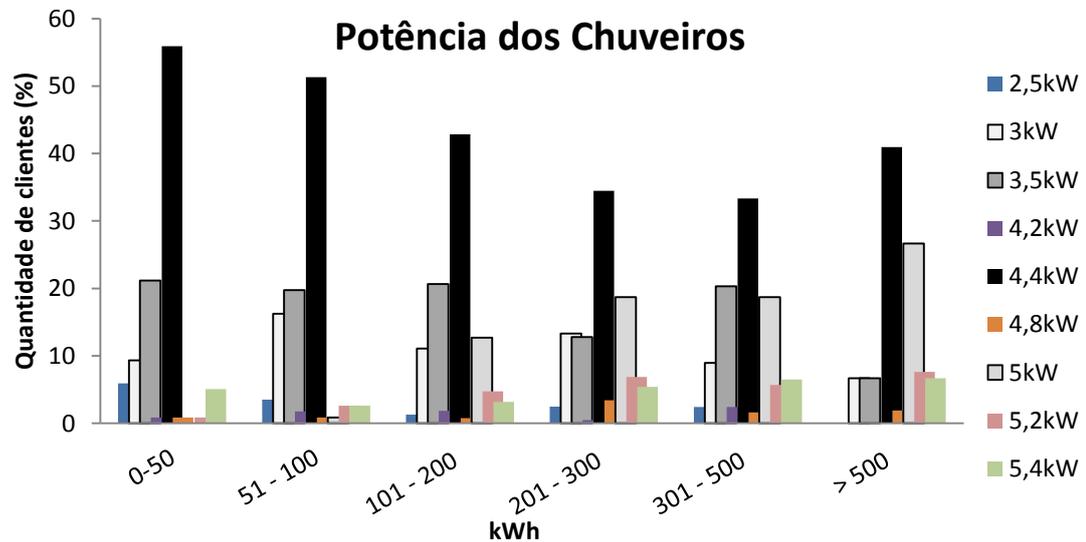


Figura 3.14 - Potência dos chuveiros nos domicílios Fonte: (INFO, 2012).

Observa-se, por exemplo, que aproximadamente 55% dos consumidores da faixa de 0 a 50 kWh possuem um chuveiro com uma potência de 4,4 kW. A mesma análise é realizada para as outras faixas de consumo, evidenciando que a potência de 4,4 kW é amplamente utilizada por todas as faixas de consumo.

3.2.1.3 Frequência de utilização do chuveiro elétrico

A frequência de uso é definida como a utilização dos chuveiros elétricos ao longo do dia pelos consumidores residenciais, determinado pelo número de banhos de cada faixa de consumo. A Figura 3.15 ilustra o número de banhos durante o dia em relação ao nível de participação de cada faixa.

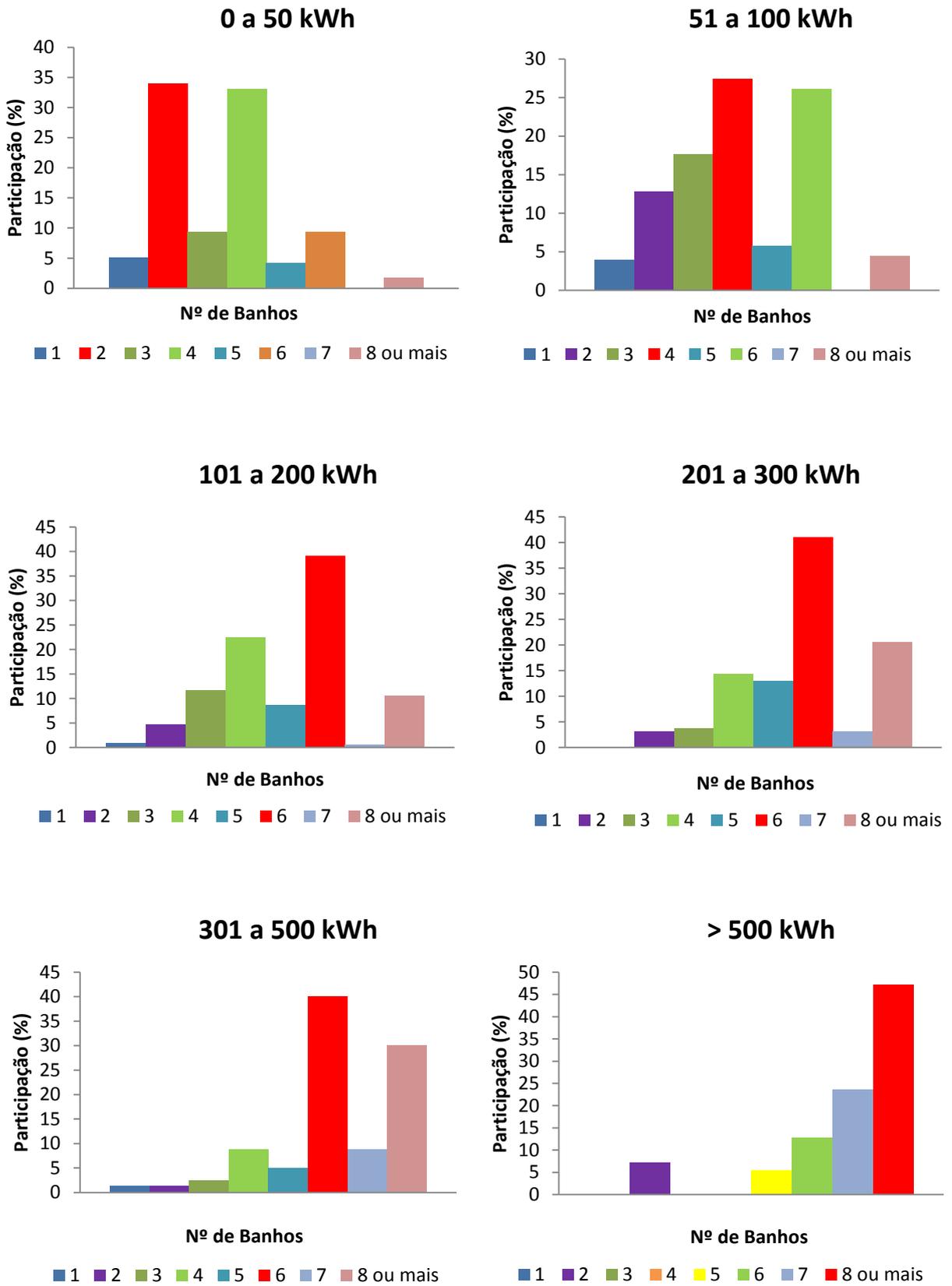


Figura 3.15 - Número de banhos por faixa de consumo Fonte: (INFO, 2012).

Observa-se que a frequência de utilização do chuveiro elétrico varia de acordo com a faixa de consumo, muitas vezes associado ao padrão de consumo de cada faixa e ao número de pessoas que utiliza o chuveiro. Nota-se que os valores mais representativos em cada faixa encontram-se destacados em vermelho e mostrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Frequência de utilização do chuveiro elétrico quanto aos valores mais representativos para cada faixa de consumo.

Faixas de consumo (kWh)	0 - 50	51 - 100	101 - 200	201 - 300	301 - 500	>500
Quantidade de banhos	2	4	6	6	6	8

3.2.1.4 Redução incentivada na ponta

A redução na ponta incentivada é definida como o percentual de clientes residenciais que utilizariam o chuveiro elétrico em horário de ponta, mesmo com uma tarifa mais cara nesse período. A Figura 3.16 mostra a predisposição na utilização do chuveiro elétrico com a aplicação de uma tarifa mais cara no horário de ponta.

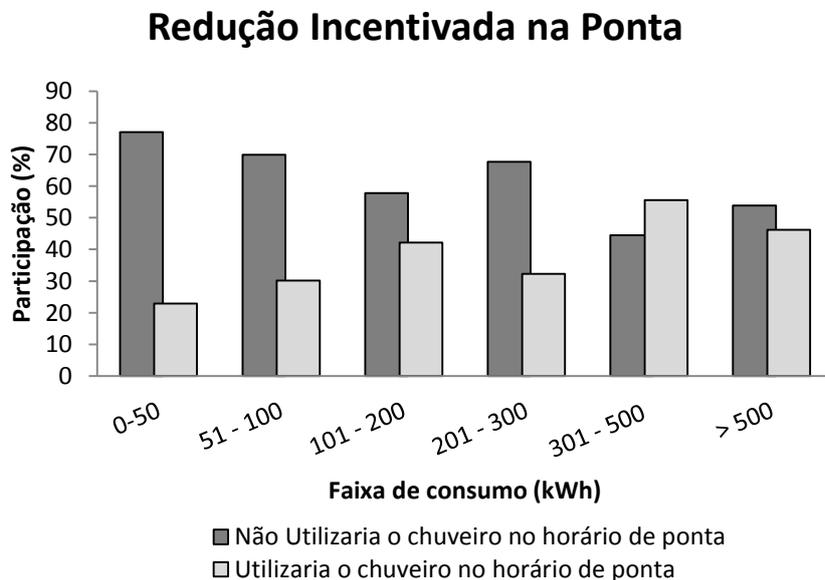


Figura 3.16 - Predisposição em utilizar o chuveiro elétrico no horário de ponta. Fonte: (INFO, 2012).

Observa-se que quanto maior o nível de consumo, menor é a predisposição em mudar o hábito de utilização do chuveiro elétrico. No caso da faixa de 0 a 50 kWh há uma predisposição em torno de 77,09% em utilizar o chuveiro em horário

fora de ponta, enquanto que para os consumidores com consumo superior a 500 kWh há uma predisposição de 46,16% (INFO, 2012).

Estes níveis de aceitação mostram que com a aplicação de uma tarifa horária, os consumidores poderão deslocar o seu consumo, alterar os seus hábitos de consumo e promover uma utilização mais racional do sistema, trazendo inúmeros benefícios. Com a aplicação de uma tarifa horária, os consumidores podem auferir reduções em suas faturas, assim como, as concessionárias terão uma redução na expansão de suas redes (Lamin, 2011).

Neste contexto, o próximo capítulo apresenta o desenvolvimento da metodologia do trabalho, com as etapas realizadas e os indicadores envolvidos. Os indicadores de utilização do chuveiro elétrico, descritos neste capítulo, representam a base para elaboração da metodologia proposta a seguir.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

A aplicação de uma nova metodologia tarifária para o consumidor residencial, assim como as perspectivas das *Smart Grid* e medição inteligente, poderão trazer efeitos ainda desconhecidos, tanto para o sistema elétrico quanto para o consumidor. Para o sistema elétrico pode-se esperar inúmeros benefícios como a postergação de investimentos em redes ou centrais geradoras, redução ou modulação de consumo na ponta, redução de perdas e melhoria nos níveis de confiabilidade e qualidade da energia elétrica. No entanto, estes benefícios só serão alcançados com a participação do consumidor, através da aplicação de tarifas horárias e a efetiva implantação dos medidores inteligentes.

O consumidor, peça importante para este desenvolvimento, também poderá ser beneficiado caso conheça os reais benefícios destas novas tendências, inclusive a tarifação horária. Conhecendo tais benefícios, e conseqüentemente, os impactos da aplicação, poderá melhor avaliar o custo benefício de migrar para uma nova concepção de sistema, podendo auferir reduções em suas faturas, e como supracitado, beneficiará não só o sistema elétrico quanto a investimentos, mas a sociedade em geral.

Neste contexto, é proposta uma metodologia para avaliar os efeitos da aplicação da tarifa branca sobre os consumidores residenciais, assim como identificar o grau de mudança necessária para que esta tarifa torne-se vantajosa. A metodologia considera os indicadores de hábitos de utilização do chuveiro elétrico, por meio do SINPHA, para a região Sul do Brasil, e o Método de Monte Carlo, como meio de simulação dos cenários de utilização do chuveiro elétrico. A Figura 4.1 mostra a arquitetura da metodologia proposta de forma a evidenciar como a mesma é elaborada, assim como os processos realizados até a obtenção dos resultados.

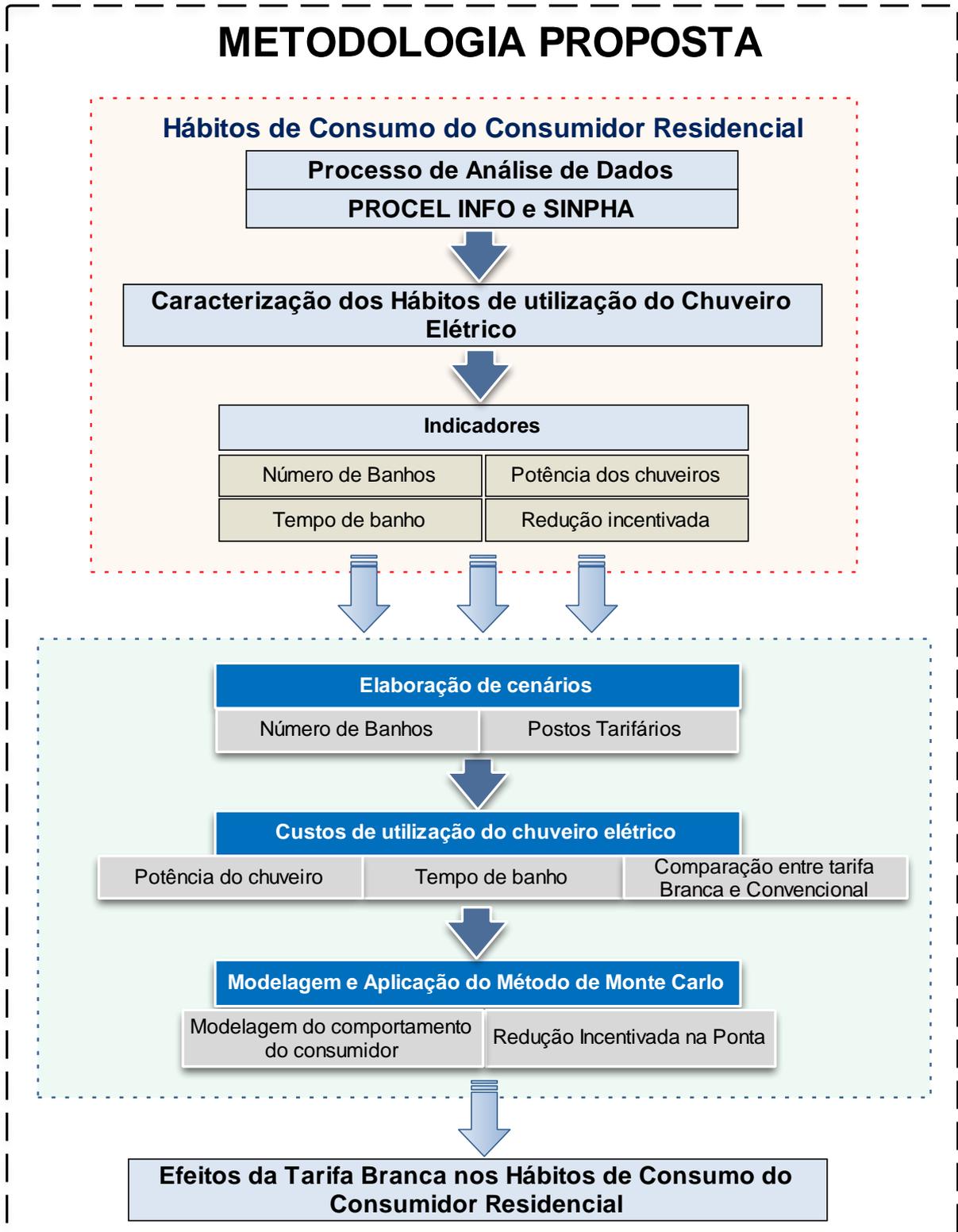


Figura 4.1 - Arquitetura para a elaboração da metodologia proposta.

A base da metodologia são os indicadores de utilização do chuveiro elétrico do SINPHA, como o tempo médio de banho, potência dos chuveiros, frequência de utilização e redução incentivada na ponta, descritos no capítulo anterior. Como

observado na Figura 4.1, cada indicador é utilizado em etapas diferentes da metodologia, divididas da seguinte forma:

- Elaboração de cenários de utilização do chuveiro elétrico;
- Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico com a tarifa convencional e branca; e
- Modelagem e Aplicação do Método de Monte Carlo.

Na primeira etapa são criados cenários de utilização do chuveiro elétrico, levando-se em conta o número de banhos para cada faixa de consumo e os períodos de utilização com a tarifa branca (postos tarifários). Na segunda etapa são determinados os custos dos possíveis cenários de utilização do chuveiro elaborados na etapa anterior. Observa-se que, nesta etapa, é considerada a potência do chuveiro, o tempo de banho e as tarifas de aplicação branca e convencional. Deste modo, é realizada a comparação entre os custos de utilização do chuveiro com a tarifa convencional e com a tarifa branca. Logo, o consumidor poderá avaliar, dependendo da faixa de consumo em que se enquadra, se os seus hábitos de banho atuais ou futuros, poderão resultar em aumento ou decréscimo em sua fatura final, pois como descrito, o chuveiro representa 24% do consumo final dos consumidores residenciais e é amplamente utilizado na ponta do sistema.

A última etapa compreende a modelagem e aplicação do Método de Monte Carlo, onde será possível avaliar o provável comportamento do consumidor frente a uma tarifa mais cara nos horários de ponta, e o sistema, quanto ao um novo perfil de carga do chuveiro elétrico. A base para esta etapa é o indicador de Redução Incentivada na Ponta, o qual fornece o nível de predisposição do consumidor em modular a utilização do chuveiro elétrico em horário de ponta do sistema. A seguir são descritas cada etapa.

4.1 Determinação dos cenários de utilização do chuveiro elétrico

Propor um horário fixo de banho dentro de uma residência é uma tarefa que dificilmente será cumprida, devido aos diferentes hábitos e rotinas de cada morador durante o dia. Em uma família onde têm crianças, por exemplo, o banho normalmente é dado antes do anoitecer ou pela manhã, em função dos cuidados com as crianças ou em função da rotina de trabalho dos pais. Mesmo sendo

possível estipular horários para o banho, o consumidor pode não se sentir beneficiado com a mudança, pois a decisão de tomar banho pela manhã ou pela noite, apenas alteraria a sua rotina, mas não a sua fatura de energia.

O que o consumidor, atualmente conhece é uma tarifa de energia constante, que independe das horas de utilização do dia, não tendo conhecimento que a utilização do chuveiro elétrico pode acarretar em custos maiores para o sistema em determinados horários do dia. Com a aplicação da Tarifa Branca, conhecer os cenários de utilização torna-se importante, pois fornecendo uma maior transparência de seus hábitos de consumo, maior será a possibilidade do consumidor planejar seus gastos com energia elétrica, além de saber em quais horários estará inferindo maiores custos para a concessionária, e tendo, uma maior participação na operação e eficiência do sistema.

Desta forma, foram elaborados para cada faixa de consumo, cenários de utilização do chuveiro elétrico, considerando o número de banhos e os postos tarifários da tarifa branca. Os cenários foram criados escalonando-se o número de banhos de cada faixa de consumo de acordo com os três postos tarifários da tarifa branca. Esta distribuição de banhos é similar a uma família, por exemplo, que utiliza o chuveiro elétrico uma vez ao dia, podendo alocar este banho de três formas distintas: em horário de ponta, intermediário ou fora ponta. Dessa maneira, esta família teria três cenários para escolha do banho.

Esta responsabilidade de escolha do melhor horário de utilização do chuveiro deve aumentar à medida em que é apresentando ao consumidor uma tarifa com maior custo no horário de maior utilização desta carga típica.

4.1.1 Cenários para a faixa de 0 a 50 kWh

Os consumidores da faixa de 0 a 50 kWh apresentam, de acordo com a Tabela 3.2, uma frequência de 2 banhos por dia. Este valor é escalonado para os três postos tarifários até se que obtenha os cenários para a faixa. Ressalta-se que o número de banhos adotado é o mais representativo da faixa em análise. A Tabela 4.1 apresenta os cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa considerada por posto tarifário, considerando a aplicação da Tarifa Branca.

Tabela 4.1 - Cenários para a faixa de 0 a 50 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
1	2		
2			2
3		2	
4		1	1
5	1	1	
6	1		1

A faixa de 0 a 50 kWh apresenta 6 cenários de uso durante o dia, considerando a nova formatação tarifária. Por exemplo, no primeiro cenário, que é comum a muitas famílias, os dois banhos são tomados em horário de ponta. Observa-se no último cenário, outro caso onde os moradores tomam um banho pela manhã e outro pela noite. Este último cenário assemelha-se com a curva típica destes consumidores, mostrado anteriormente na Figura 3.11, com dois picos durante o dia.

4.1.2 Cenários para a faixa de 51 a 100 kWh

A faixa de 51 a 100 kWh apresenta, de acordo com a Tabela 3.2, uma frequência de utilização do chuveiro elétrico de 4 banhos por dia. A Tabela 4.2 mostra este valor de banho escalonado para os três postos tarifários.

Tabela 4.2 - Cenários para a faixa de 51 a 100 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
1	4		
2			4
3		4	
4		2	2
5	2	2	
6	2		2
7	1	2	1
8	1	1	2
9	2	1	1
10		1	3
11	3		1
12	3	1	
13		3	1
14	1		3
15	1	3	

Pode-se observar que esta faixa possui 15 cenários de utilização do chuveiro elétrico durante o dia. Ressalta-se que, nesta etapa da metodologia considerou-se somente o número de banhos, sendo considerados os valores mais representativos de cada faixa.

4.1.3 Cenários para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh

Como estas três faixas de consumo possuem o mesmo número de banhos, as três são representadas em uma mesma tabela. Assim, a Tabela 4.3 traz informações quanto ao número de banhos escalonados nos três postos tarifários.

Tabela 4.3 - Cenários para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
1	6		
2			6
3		6	
4		3	3
5	3	3	
6	3		3
7	2	2	2
8	1	2	3
9	1	3	2
10	2	1	3
11	2	3	1
12	1	1	4
13	1	4	1
14	4	1	1
15		5	1
16		1	5
17	5		1
18	1		5
19	5	1	
20	1	5	
21	3	1	2
22	3	2	1
23	4	2	
24	2	4	
25		4	2
26		2	4
27	4		2

Tabela 4.3 - Cenários para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh (continuação).

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
28	2		4

Nota-se que para 6 banhos diários, obteve-se 28 cenários de utilização do chuveiro elétrico.

4.1.4 Cenários para a faixa de consumo superior a 500 kWh

Os consumidores com consumo superior a 500 kWh possuem uma frequência de 8 banhos por dia, de acordo com a Tabela 3.2. Este caso é que apresenta o maior número de cenários, como mostra a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Cenários para a faixa de consumo superior a 500 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
1	8		
2			8
3		8	
4		4	4
5	4	4	
6	4		4
7	4	2	2
8	2	4	2
9	2	2	4
10	4	3	1
11	4	1	3
12	3	4	1
13	3	1	4
14	1	3	4
15	1	4	3
16	3	3	2
17	3	2	3
18	2	3	3
19	5	2	1
20	5	1	2
21	2	5	1
22	2	1	5
23	1	5	2
24	1	2	5
25	5	3	

Tabela 4.4 - Cenários para a faixa de consumo superior a 500 kWh (*continuação*).

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
26	3	5	
27		5	3
28		3	5
29	5		3
30	3		5
31	6	2	
32	2	6	
33		6	2
34		2	6
35	6		2
36	2		6
37	7	1	
38	1	7	
39		7	1
40		1	7
41	7		1
42	1		7
43	6	1	1
44	1	6	1
45	1	1	6

Nota-se que há 45 cenários de uso do chuveiro elétrico durante o dia para os consumidores com este nível de utilização. Isto mostra a variedade de cenários existentes para uma família e as prováveis dificuldades que terão em escolher os melhores cenários de utilização caso escolham migrar para a Tarifa Branca.

4.2 Determinação dos custos de cada cenário de utilização do chuveiro elétrico

Muitos dos cenários mostrados anteriormente evidenciam a dificuldade que os consumidores teriam para se adaptar a uma nova estrutura tarifária, caso não saibam os cenários que beneficiam a sua fatura de energia, e que melhor se adequam aos seus hábitos de consumo atuais. Assim, são analisados, para cada faixa de consumo, os custos de utilização para cada cenário considerando a aplicação da tarifa convencional e da tarifa branca. Para esta análise foi considerado o tempo médio de banho, a potência dos chuveiros, que multiplicados pelos números de banhos, fornecem a energia (kWh) gasta em cada período.

Para determinar os custos de cada cenário para o consumidor, foi utilizada a tarifa de aplicação de uma concessionária do sul país, homologada pela Resolução Nº 1.296 de 19 de Junho de 2012 (ANEEL, 2012i). A modalidade branca, como discutida no Capítulo 2, possui duas componentes tarifárias, associadas ao uso do sistema de distribuição (TUSD) e a uma tarifa de energia (TE). Diferentemente da tarifa convencional, tanto a TUSD quanto a TE possui postos tarifários de acordo com as horas do dia. A Figura 4.2 ilustra as componentes tarifárias da modalidade branca dadas em R\$/kWh, onde observa-se 3 componentes tarifárias para a TE e a TUSD.

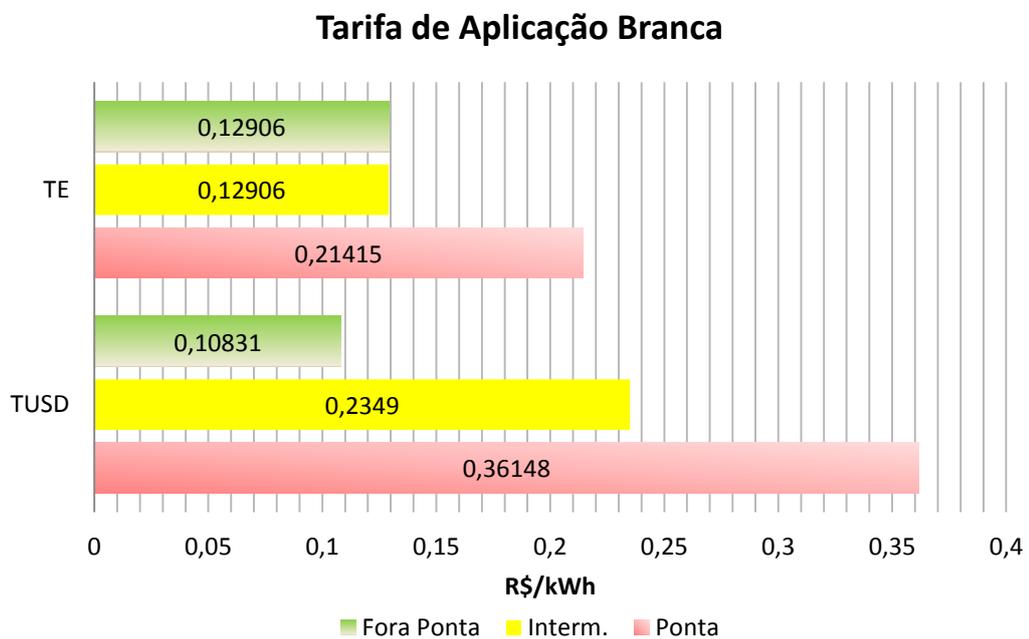


Figura 4.2 - Componentes tarifárias em R\$/kWh para a modalidade tarifária branca. Fonte: (ANEEL, 2012i)

A Figura 4.3 ilustra as componentes tarifárias dadas em R\$/kWh da modalidade convencional.

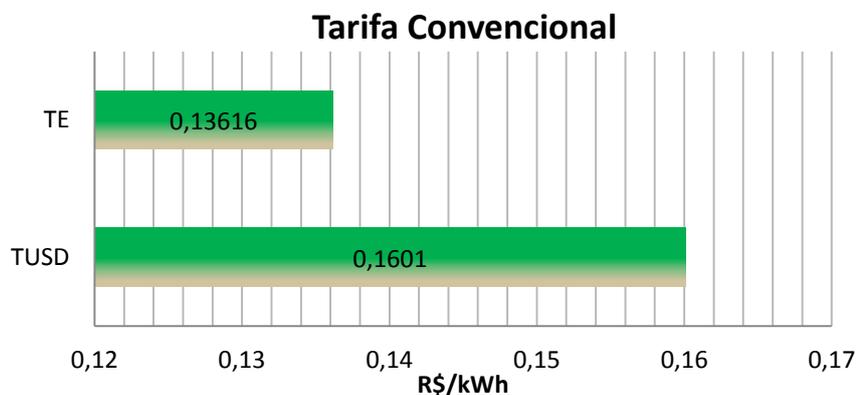


Figura 4.3 - Componentes Tarifários para a modalidade convencional. Fonte: (ANEEL, 2012i)

A tarifa final que é aplicada ao consumidor em sua fatura de energia, desconsiderando os tributos que atualmente estão inseridos, consiste na soma destas duas componentes, como mostra a Equação (4) para a tarifa convencional (TR_{cv}).

$$TR_{cv} = TUSD_{convencional} + TE_{convencional} \quad (4)$$

Para a modalidade branca (TB) tem-se três tarifas, uma para cada posto tarifário, como mostra as Equações (5), (6) e (7).

$$TB_{Ponta} = TUSD_{Ponta} + TE_{Ponta} \quad (5)$$

$$TB_{Intermediário} = TUSD_{Intermediário} + TE_{Intermediário} \quad (6)$$

$$TB_{Fora\ Ponta} = TUSD_{Fora\ Ponta} + TE_{Fora\ Ponta} \quad (7)$$

Tanto a TR_{cv} como a TB são dadas em R\$/kWh. A Figura 4.4 apresenta a comparação entre a Tarifa Convencional e Branca, considerando as componentes já somadas.

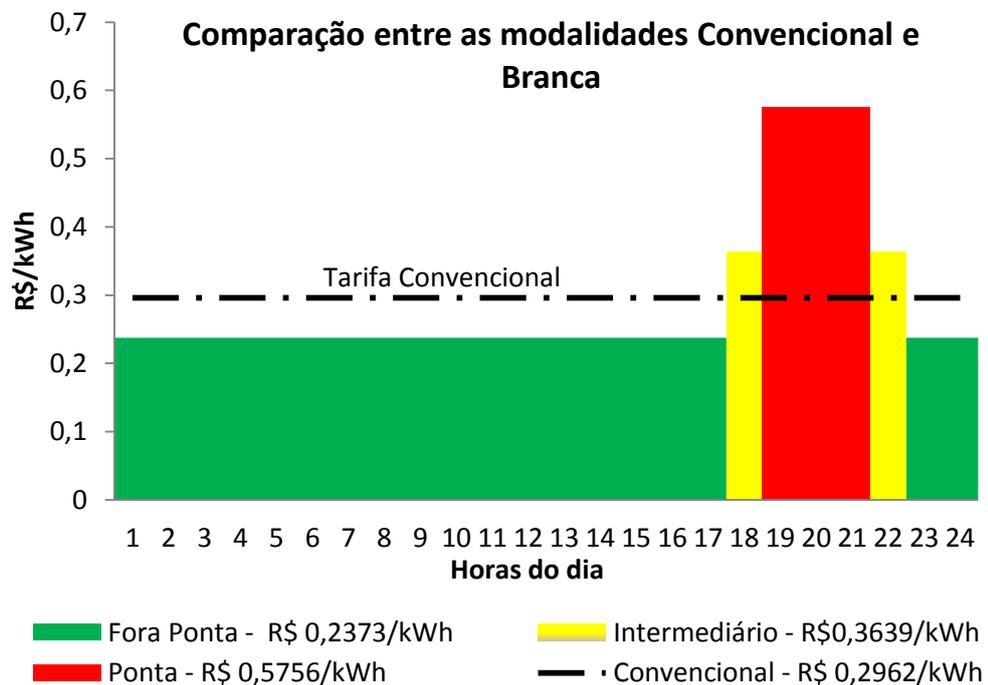


Figura 4.4 - Comparação entre a Tarifa Convencional e Tarifa Branca. Fonte: adaptado de (ANEEL, 2012i).

Observa-se que o valor da tarifa branca nos horários de ponta é aproximadamente o dobro da atualmente praticada na convencional. No entanto,

nos horários fora de ponta a tarifa branca torna-se 20% mais barata do que a convencional.

O custo de utilização do chuveiro em cada posto é calculado pelas Equações (8) a (10):

$$Custo_{Ponta} = E_{ponta} * TB_{ponta} \quad (8)$$

$$Custo_{Intermediário} = E_{Intermediário} * TB_{Intermediário} \quad (9)$$

$$Custo_{Fora Ponta} = E_{Fora Ponta} * TB_{Fora Ponta} \quad (10)$$

Onde E_{ponta} , $E_{intermediário}$ e $E_{Fora Ponta}$, representam a energia gasta em cada posto tarifário, dado em KWh, obtido pelas Equações (11), (12) e (13).

$$E_{ponta} = N_b * T_b * P \quad (11)$$

$$E_{Intermediário} = N_b * T_b * P \quad (12)$$

$$E_{Fora Ponta} = N_b * T_b * P \quad (13)$$

Onde N_b , T_b e P , representam o número de banhos no posto considerado, o tempo de banho em minutos e a potência dos chuveiros em Watt. Para as variáveis T_b e P foram adotadas as constantes 10 e 4,4, respectivamente, que correspondem ao tempo médio de banho e potência do chuveiro, conforme mostrado no Capítulo 2. O número de banhos varia de acordo com a faixa de consumo.

O custo total de cada cenário, considerando a aplicação da tarifa branca, é obtido por meio da soma das Equações (8), (9) e (10). A Equação (11) mostra o cálculo do custo de utilização do chuveiro elétrico para cada cenário em análise, dado em R\$.

$$Custo_{TB} = Custo_{Ponta} + Custo_{Intermediário} + Custo_{Fora Ponta} \quad (14)$$

Como não há uma diferenciação horária de consumo para a tarifa convencional, apenas é considerada o valor da tarifa (TR_{cv}) multiplicada pela energia utilizada durante o dia, obtendo o custo total com a tarifa convencional ($Custo_{cv}$) conforme mostra a Equação (15).

$$Custo_{cv} = E_{Total} * TR_{cv} \quad (15)$$

Onde E_{Total} , refere-se ao número total de banhos durante o dia, multiplicado pelas variáveis T_b e P .

Finalizando o cálculo, com base nas Equações (14) e (15), é realizada a análise da relação de custo (R_c) para cada cenário de utilização do chuveiro, de acordo com a Equação (16).

$$R_c (\%) = \frac{Custo_{TB}}{Custo_{CV}} (x 100) \quad (16)$$

Esta relação mostra o quanto a tarifa branca é menor ou maior que a tarifa convencional.

4.2.1 Custos para a faixa de 0 a 50 kWh

Considerando os cenários de utilização do chuveiro para esta faixa de consumo, foram calculados os custos com base nas Equações (14) e (15). Na comparação realizada entre a tarifa convencional e branca, determinaram-se os cenários onde houve um acréscimo no custo de utilização de chuveiro e cenários com decréscimo no custo. A Tabela 4.5 mostra o custo em reais (R\$) para cada cenário, assim como o número de banhos distribuídos em cada posto tarifário.

Tabela 4.5 - Custos para a faixa de 0 a 50 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{CV} (R\$)
1	2			0,84	0,43
2			2	0,35	0,43
3		2		0,53	0,43
4		1	1	0,44	0,43
5	1	1		0,69	0,43
6	1		1	0,60	0,43

De forma a visualizar a relação entre o Custo_{TB} e o Custo_{CV}, determinada pela Equação (16), a Figura 4.5 apresenta a análise do quanto de aumento ou de redução o consumidor terá em cada cenário de utilização do chuveiro elétrico. Para isto considera-se o ponto 0 do eixo horizontal como sendo um ponto de equivalência entre os custos com a tarifa branca e convencional.

Comparação entre custos de tarifa branca e convencional

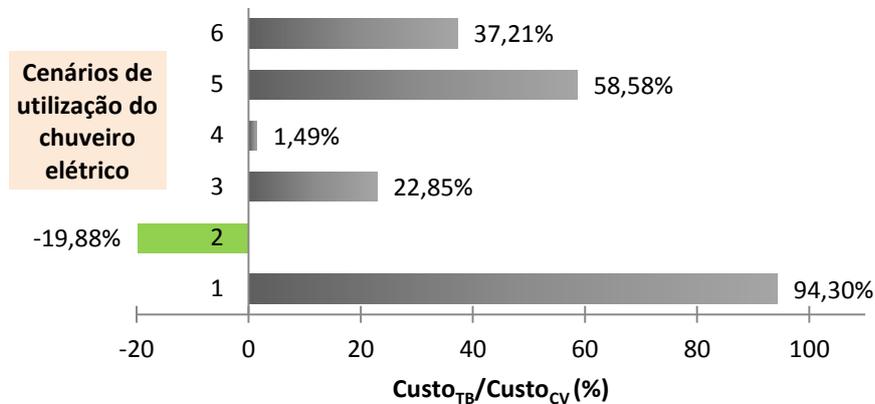


Figura 4.5 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidades branca e convencional para a faixa de 0 a 50 kWh.

Observa-se que entre os cenários, apenas o Cenário 2 apresenta uma relação positiva para o consumidor, ou seja, uma redução de 19,88% no custo de utilização do chuveiro com a tarifa branca. No entanto, para que se obtenha esta redução, o consumidor teria que concentrar todo o seu consumo no horário fora de ponta. O custo de utilização do chuveiro para os cenários que obtiveram acréscimo chegou a 94,30% para o Cenário 1, caracterizado pelo consumo total em horário de ponta, o que atualmente é o hábito do consumidor.

4.2.2 Custos para a faixa de 51 a 100 kWh

Considerando os cenários de utilização do chuveiro para esta faixa de consumo, foram calculados os custos com base nas Equações (14) e (15). A Tabela 4.6 traz os custos de utilização do chuveiro considerando tanto a aplicação da tarifa convencional quanto a tarifa branca.

Tabela 4.6 - Custos para a faixa de 51 a 100 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{cv} (R\$)
1	4			1,69	0,87
2			4	0,70	0,87
3		4		1,07	0,87
4		2	2	0,88	0,87
5	2	2		1,38	0,87
6	2		2	1,19	0,87

Tabela 4.6 - Custos para a faixa de 51 a 100 kWh (continuação).

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{CV} (R\$)
7	1	2	1	1,13	0,87
8	1	1	2	1,04	0,87
9	2	1	1	1,28	0,87
10		1	3	0,79	0,87
11	3		1	1,44	0,87
12	3	1		1,53	0,87
13		3	1	0,97	0,87
14	1		3	0,94	0,87
15	1	3		1,22	0,87

A Figura 4.6 mostra a relação entre o Custo_{TB} e o Custo_{CV}, determinada pela Equação (16).

Comparação entre custos de tarifa branca e convencional

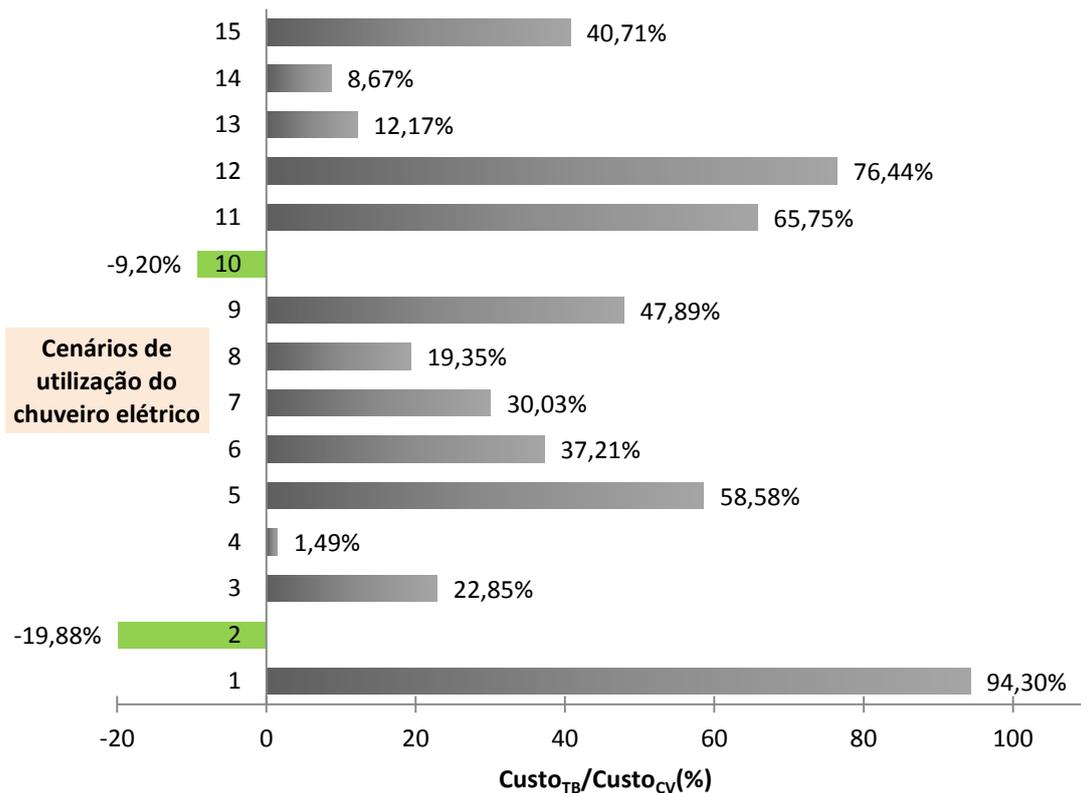


Figura 4.6 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidades branca e convencional para a faixa de 51 a 100 kWh.

Pode-se observar que dos 15 cenários de banho para uma família enquadrada nesta faixa de consumo, apenas 2 cenários apresentam vantagem ao consumidor. O Cenário 2 apresenta todo o consumo em horário fora de ponta,

resultando em uma redução de 19,88% no custo de utilização do chuveiro elétrico. No Cenário 10, o consumidor obteve uma redução de 9,20%, resultado de um cenário que apresenta 1 banho no horário intermediário e 3 banhos no horário fora de ponta.

4.2.3 Custos para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300kWh e 301 a 500 kWh

Considerando os cenários de utilização do chuveiro para estas faixas de consumo, foram calculados os custos com base nas Equações (14) e (15). A Tabela 4.7 traz os custos de utilização do chuveiro, considerando tanto a aplicação da tarifa convencional quanto da tarifa branca.

Tabela 4.7 - Custos para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{cv} (R\$)
1	6			2,53	1,30
2			6	1,04	1,30
3		6		1,60	1,30
4		3	3	1,32	1,30
5	3	3		2,07	1,30
6	3		3	1,79	1,30
7	2	2	2	1,73	1,30
8	1	2	3	1,48	1,30
9	1	3	2	1,57	1,30
10	2	1	3	1,63	1,30
11	2	3	1	1,82	1,30
12	1	1	4	1,38	1,30
13	1	4	1	1,66	1,30
14	4	1	1	2,13	1,30
15		5	1	1,51	1,30
16		1	5	1,14	1,30
17	5		1	2,28	1,30
18	1		5	1,29	1,30
19	5	1		2,38	1,30
20	1	5		1,76	1,30
21	3	1	2	1,88	1,30
22	3	2	1	1,97	1,30
23	4	2		2,22	1,30
24	2	4		1,91	1,30
25		4	2	1,42	1,30
26		2	4	1,23	1,30

Tabela 4.7 - Custos para as faixas de 101 a 200 kWh, 201 a 300 kWh e de 301 a 500 kWh (continuação).

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{CV} (R\$)
27	4		2	2,04	1,30
28	2		4	1,54	1,30

A Figura 4.7 mostra a relação entre o Custo_{TB} e o Custo_{CV}, determinada pela Equação (16).

Comparação entre custos de tarifa branca e convencional

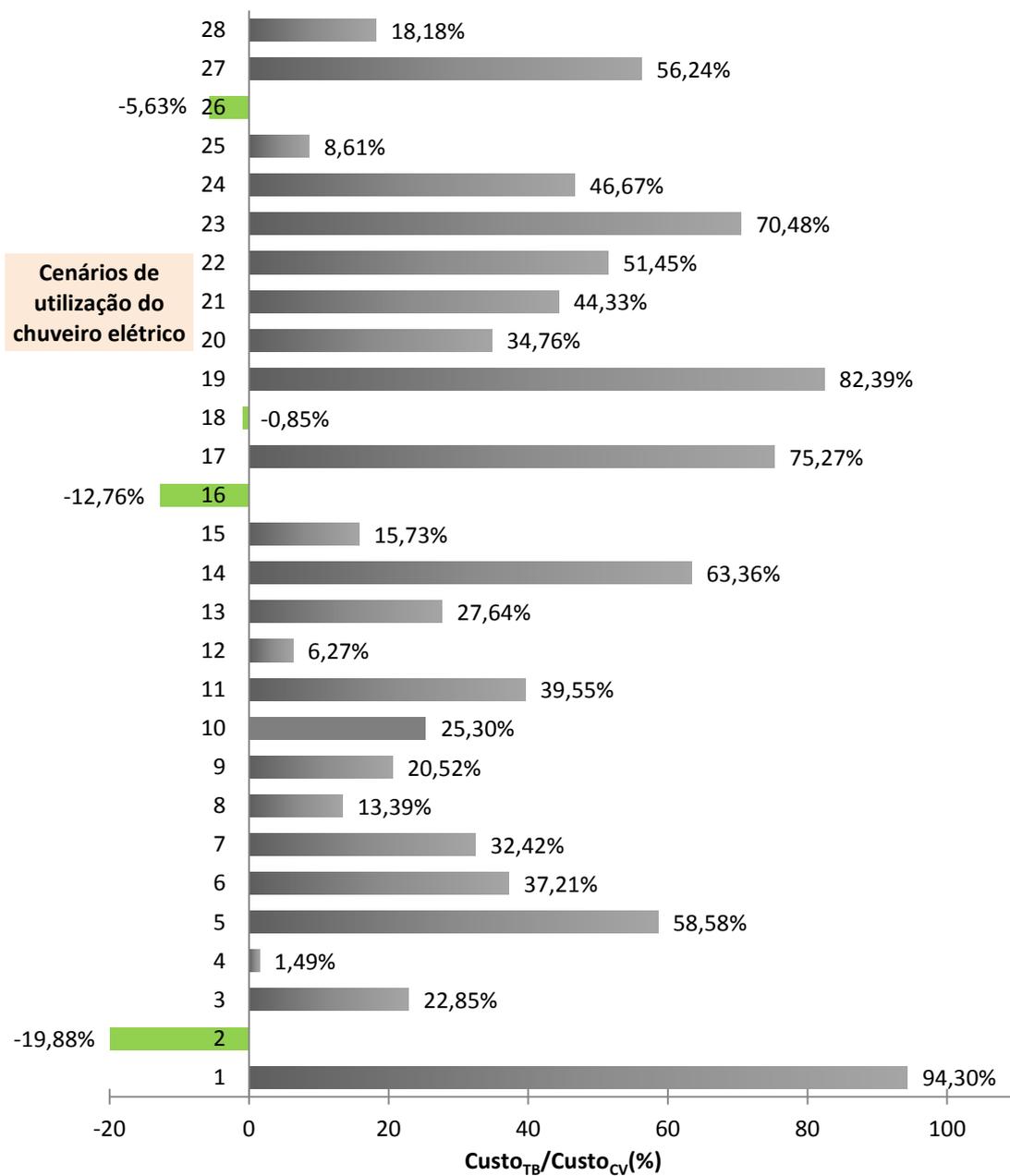


Figura 4.7 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidades branca e convencional para as faixas de 101 a 200, 201 a 300 e de 301 a 500 kWh.

Nota-se que há somente 4 cenários de utilização do chuveiro elétrico que podem oferecer certo benefício ao consumidor e ambos possuem grande parte dos banhos situados nos horários fora de ponta. O Cenário 18 é uma situação onde uma família não sairia prejudicada e nem beneficiada com a tarifa branca. Porém nota-se que para obter esta equivalência no custo, a família precisaria manter 5 banhos em horário fora de ponta e 1 banho no horário de ponta.

Outra análise que pode ser realizada diz respeito ao efeito do deslocamento de um banho de um posto tarifário para outro posto no custo total (C_r). Esta análise é realizada primeiramente considerando os Cenários 18, 16 e 2 desta faixa de consumo. A Figura 4.8 ilustra a redução de custo que uma família poderia obter caso desloque o banho de um posto tarifário para outro. As setas tracejadas em vermelho denotam o deslocamento e a possível redução resultante da ação.

	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{Total}
Cenário 18	1	0	5	-0,89%
Cenário 16	0	1	5	-12,76%
Cenário 2	0	0	6	-19,88%

Deslocamento de banhos

12%

7%

Figura 4.8 - Análise sobre a variação do Custo Total (C_r) em função do deslocamento de um banho entre os postos tarifários.

A situação inicial (Cenário 18), apresentada anteriormente, possui 5 banhos situados em horário fora de ponta e 1 banho no horário de ponta, obtendo uma equivalência entre os custos. No entanto, caso os moradores desta residência desloquem o banho do horário de ponta para o horário intermediário (Cenário 16), teriam uma redução de 12% no custo de utilização do chuveiro, e em seguida, 7% a mais de redução caso este banho seja deslocado para o horário fora de ponta. Na Figura 4.9 é ilustrada uma situação contrária aqui descrita, com o aumento de custo com o deslocamento do horário de banho.

	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{Total}
Cenário 16	0	1	5	-12,76%
Cenário 26	0	2	4	-5,63%
Cenário 4	0	3	3	1,49%

Figura 4.9 - Análise sobre a variação do Custo Total (Cr) em função do deslocamento de um banho entre os postos tarifários.

Neste caso, a família partiria de um cenário com redução de 12,76% no custo. Caso escolha deslocar 1 banho do horário fora de ponta para o horário intermediário, o consumidor teria um acréscimo de 7% de custo em relação ao cenário anterior. O mesmo acontece do Cenário 26 para o 4, onde o consumidor deslocaria outro banho do horário fora de ponta, e dessa forma, obteriam certa equivalência entre os custos.

Com a determinação dos custos de cada cenário, além do consumidor ter conhecimento dos possíveis cenários de utilização, o mesmo poderá identificar o cenário em que se encontra atualmente, além de avaliar o quanto será beneficiado ou prejudicado com a tarifa branca, caso a sua família altere os horários de banho durante o dia.

4.2.4 Custos para a faixa com consumo maior que 500 kWh

Considerando os cenários de utilização do chuveiro para esta faixa de consumo, foram calculados os custos com base nas Equações (14) e (15). A Tabela 4.8 traz os custos de utilização do chuveiro considerando tanto a aplicação da tarifa convencional quanto a tarifa branca.

Tabela 4.8 - Custos de utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca e convencional para a faixa com consumo maior que 500 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{cv} (R\$)
1	8			3,38	1,74
2			8	1,39	1,74

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo _{TB} (R\$)	Custo _{cv} (R\$)
3		8		2,13	1,74
4		4	4	1,76	1,74
5	4	4		2,75	1,74
6	4		4	2,38	1,74
7	4	2	2	2,57	1,74
8	2	4	2	2,26	1,74
9	2	2	4	2,07	1,74
10	4	3	1	2,66	1,74
11	4	1	3	2,48	1,74
12	3	4	1	2,51	1,74
13	3	1	4	2,23	1,74
14	1	3	4	1,92	1,74
15	1	4	3	2,01	1,74
16	3	3	2	2,41	1,74
17	3	2	3	2,32	1,74
18	2	3	3	2,17	1,74
19	5	2	1	2,82	1,74
20	5	1	2	2,72	1,74
21	2	5	1	2,35	1,74
22	2	1	5	1,98	1,74
23	1	5	2	2,10	1,74
24	1	2	5	1,83	1,74
25	5	3		2,91	1,74
26	3	5		2,60	1,74
27		5	3	1,86	1,74
28		3	5	1,67	1,74
29	5		3	2,63	1,74
30	3		5	2,14	1,74
31	6	2		3,07	1,74
32	2	6		2,44	1,74
33		6	2	1,95	1,74
34		2	6	1,58	1,74
35	6		2	2,88	1,74
36	2		6	1,89	1,74
37	7	1		3,22	1,74
38	1	7		2,29	1,74
39		7	1	2,04	1,74
40		1	7	1,48	1,74
41	7		1	3,13	1,74
42	1		7	1,64	1,74
43	6	1	1	2,97	1,74
44	1	6	1	2,20	1,74
45	1	1	6	1,73	1,74

A Figura 4.10 mostra a relação entre o Custo_{TB} e o Custo_{CV} , determinada pela Equação (16).

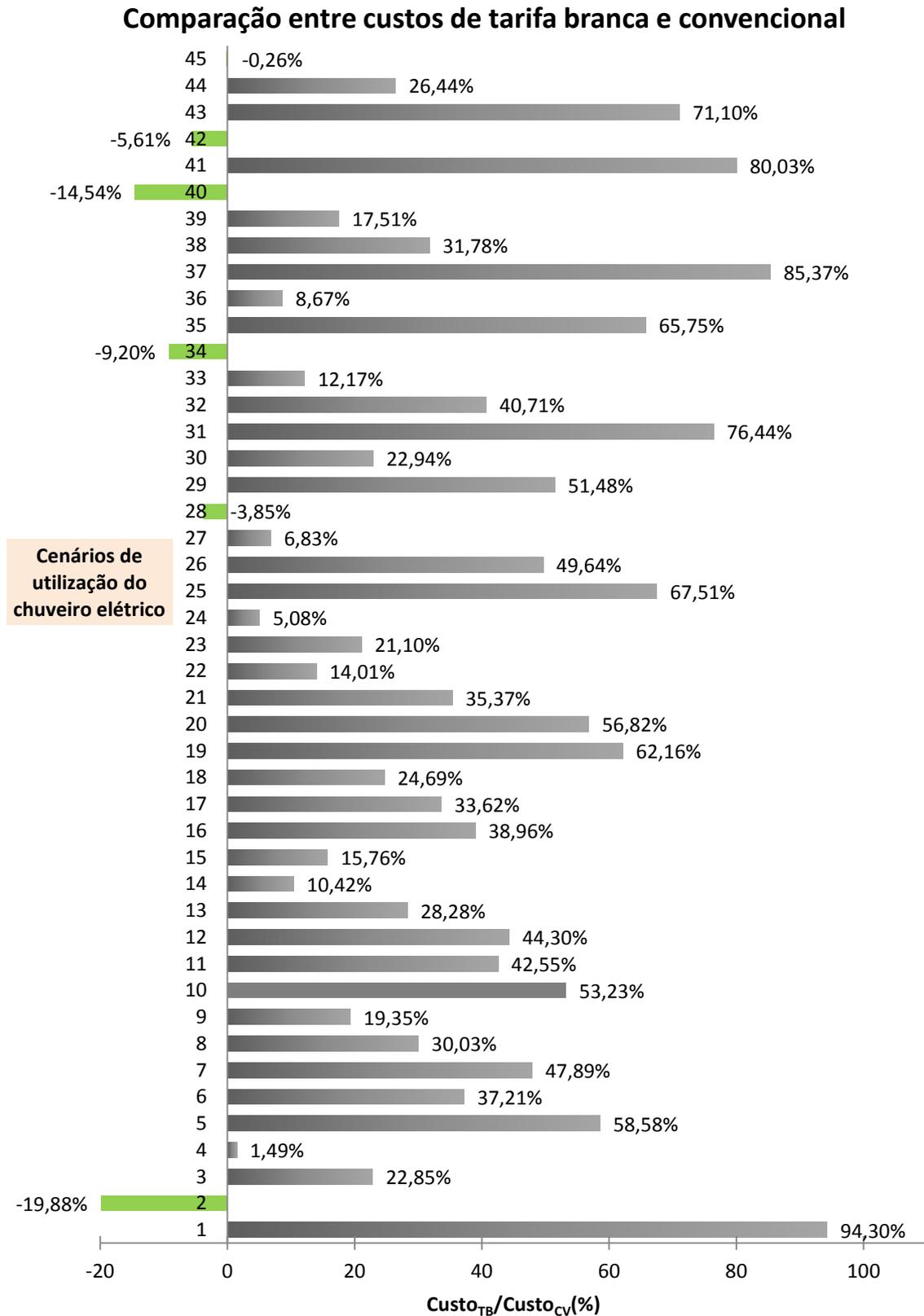


Figura 4.10 - Comparação entre os custos de utilização do chuveiro elétrico para as modalidades branca e convencional para a faixa com consumo superior a 500 kWh.

Observa-se que entre os 45 cenários possíveis de utilização do chuveiro elétrico, apenas 6 apresentam redução ao consumidor.

É importante para o consumidor ter uma maior transparência e consciência de seus hábitos de consumo, pois devido à grande quantidade de cenários existentes e poucos cenários que oferecem benefício, os consumidores poderão encontrar dificuldade em encontrar o cenário que melhor se enquadre em seus hábitos atuais. A análise realizada na seção 4.2.3, evidencia que uma pequena alteração nos hábitos de banho pode resultar tanto em acréscimo quanto em redução nos custos finais de utilização do chuveiro elétrico, e conhecer estes resultados, torna-se fundamental para que o consumidor não seja prejudicado e se adapte à tarifa branca.

4.3 Modelagem e Aplicação do Método de Monte Carlo

Os conceitos de simulação, descritos no Capítulo 2, destacam as vantagens da utilização de experimentos como forma de avaliar e estimar o comportamento de determinado sistema antes que seja aplicado no mundo real. Com a utilização da simulação, vários estudos podem ser realizados de modo a compreender as características do sistema, propriedades e possíveis efeitos oriundos de uma determinada aplicação.

A modalidade tarifária branca trata-se de uma nova proposta que será inserida no contexto do consumidor residencial e do sistema elétrico, e neste sentido, a simulação torna-se uma ferramenta fundamental para que esta nova política tarifária possa ser avaliada e testada do ponto de vista do consumidor e do sistema, de modo que seja delineada ações que possam beneficiar a melhor aplicação da tarifa branca.

Para a simulação do comportamento do consumidor, consideraram-se os cenários de utilização do chuveiro elétrico. Estes cenários podem apresentar diferentes frequências de ocorrência para cada faixa de consumo. Uma família, por exemplo, pode concentrar todo o consumo do chuveiro em horário de ponta, porém em outra ocasião, poderá ter um comportamento totalmente diferente, mas que no final tenderá a uma determinada frequência de utilização. Esta aleatoriedade no consumo é que consiste a base do Método de Monte Carlo. Esse método é uma abordagem de simulação caracterizada pela geração de números aleatórios e a

utilização de curvas de frequência absoluta e acumulada de determinada variável. A variável em análise, neste caso, é o comportamento do consumidor em utilizar o chuveiro elétrico, ou seja, para cada faixa de consumo haverá um comportamento (curva de frequência), com cenários com maior ou menor frequência de ocorrência. No entanto, não se sabe quais cenários serão escolhidos pelos consumidores de cada faixa, pois, como já mencionado, trata-se de uma nova experiência para os consumidores.

No Capítulo 3 foram citados indicadores do SINPHA, os quais foram a base da determinação dos cenários de utilização do chuveiro elétrico. Outro indicador, mostrado na seção 3.2.1.4, foi o de Redução Incentivada na ponta, caracterizado pela predisposição do consumidor em tomar banho em horário de ponta, mesmo com uma tarifa mais cara neste período. A Tabela 4.9 mostra os dados da Figura 3.16, de forma a destacar a importância deste indicador para a simulação.

Tabela 4.9 - Percentual de clientes residenciais que continuaria a utilizar o chuveiro elétrico no horário de ponta mesmo que fosse aplicada uma tarifa mais alta neste período.

Faixa de Consumo	Pessoas que utilizariam o chuveiro em horário de ponta (%)	Pessoas que não utilizariam o chuveiro em horário de ponta (%)
0 a 50 kWh	22,91	77,09
51 a 100 kWh	30,11	69,89
101 a 200 kWh	42,17	57,83
201 a 300 kWh	32,29	67,71
301 a 500	55,56	44,44
Acima de 500	46,16	53,84

Fonte: (INFO, 2012)

Este indicador é utilizado como base para o Método de Monte Carlo e para a geração das curvas de frequência Absoluta e Acumulada.

4.3.1 Procedimento para Elaboração das Curvas de Frequência Acumulada e Absoluta

A redução incentivada na ponta consiste nas parcelas de cada faixa de consumo que utilizariam ou não o chuveiro no horário de ponta com uma tarifa mais cara neste período. Assim, para a elaboração das curvas assumiu-se que os cenários que obtiveram redução no custo de utilização do chuveiro elétrico

representam a parcela que não utilizaria o chuveiro no horário de ponta, assim como, os demais cenários representam a parcela que utilizaria o chuveiro mesmo que o preço da energia fosse mais caro neste período. Dessa forma, tem-se uma frequência atribuída para cada faixa de consumo, como mostra a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Frequência atribuída para os cenários de utilização do chuveiro elétrico.

Faixa de Consumo (kWh)	Cenários	Nº de cenários	Frequência atribuída
0 a 50	Redução	1	77,09
	Acréscimo	5	22,91
51 a 100	Redução	2	69,89
	Acréscimo	13	30,11
101 a 200	Redução	4	57,83
	Acréscimo	24	42,17
201 a 300	Redução	4	67,71
	Acréscimo	24	32,29
301 a 500	Redução	4	44,44
	Acréscimo	24	55,56
>500	Redução	6	53,80
	Acréscimo	39	46,16

Observa-se, por exemplo, que na faixa de 500 kWh os 6 cenários que apresentaram redução terão uma frequência de 53,80% de ocorrerem, enquanto que os demais cenários apresentarão uma frequência 46,16%. Estas frequências são divididas entre os cenários da faixa, ou seja, dos 6 cenários que obtiveram redução, cada um receberá uma frequência de 8,96%. Os demais cenários receberão uma frequência de 1,18% cada. Esta atribuição é realizada para todas as faixas de consumo, sendo que a Tabela 4.11 mostra, como exemplo, a atribuição de frequência para cada cenário da faixa de 0 a 50 kWh.

Tabela 4.11 - Atribuição de frequência para os cenários da faixa de 0 a 50 kWh.

Cenários	Frequência Absoluta	Frequência Acumulada
1	0,046	0,0458
2	0,771	0,8167
3	0,046	0,8625
4	0,046	0,9084
5	0,046	0,9542
6	0,046	1,0000

Com base nos dados da Tabela 4.11, a curva de Frequência Acumulada é elaborada, e ilustrada na Figura 4.11. A amplitude permite verificar a frequência de ocorrência que cada cenário terá na simulação.

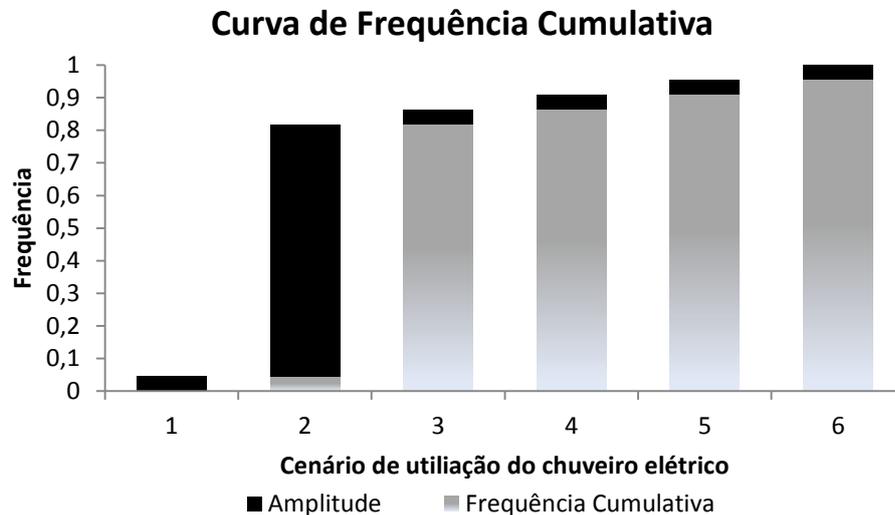


Figura 4.11 - Curva de frequência acumulada para a faixa de 0 a 50 kWh.

Neste caso, apenas o Cenário 2 apresenta redução no custo de utilização do chuveiro elétrico. No processo de simulação, este cenário possuirá a maior amplitude dentre os cenários, tendo 77,09% de chance de ser escolhido do que os demais cenários.

4.3.2 Processo de Simulação

As curvas de frequência acumulada são geradas para todas as faixas de consumo como descrito anteriormente. Com base nestas curvas, o processo de simulação é iniciado com a geração dos números aleatórios. O processo de simulação é exemplificado através da faixa de 0 a 50 kWh.

4.3.2.1 Processo de Simulação da Faixa de 0 a 50 kWh

A simulação é iniciada com a geração de um número aleatório, compreendendo o primeiro experimento, como ilustra a Figura 4.12.

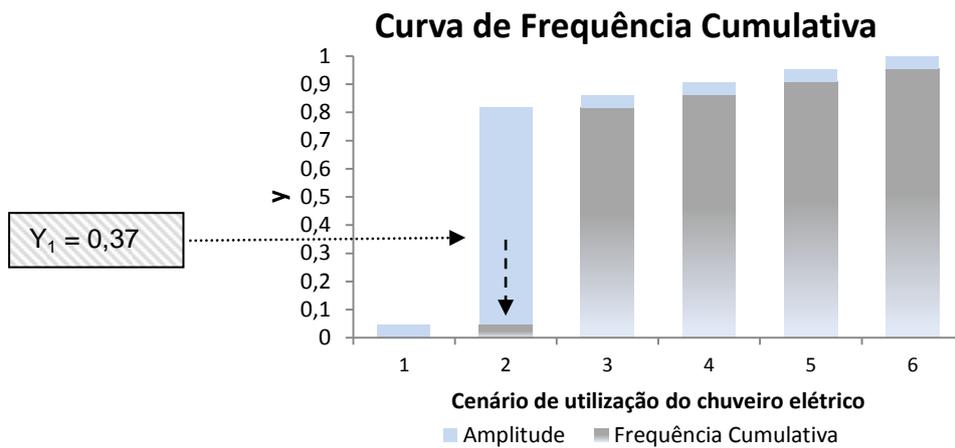


Figura 4.12 - Primeiro experimento para o processo de simulação.

Neste primeiro experimento, foi gerado como exemplo o número aleatório 0,37. Logo o Cenário 2 é escolhido. Através desta escolha é possível analisar os custos relacionados a este cenário, assim como as características de utilização do chuveiro elétrico. Como um cenário não pode representar o comportamento de uma família ou da faixa considerada torna-se necessário a realização de mais experimentos. Deste modo, sorteiam-se dois novos números, como mostra a Figura 4.13.

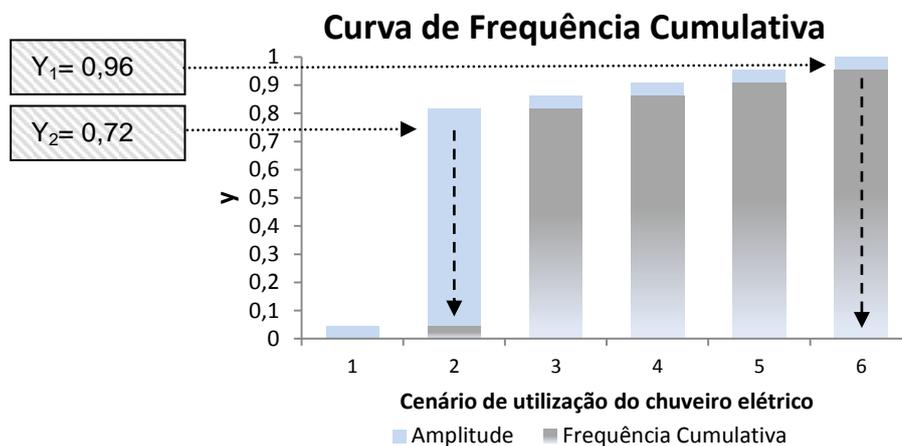


Figura 4.13 - Segundo experimento no processo de simulação.

Observa-se que os dois números aleatório gerados correspondem aos Cenários 2 e 6. Este pode ser um caso, por exemplo, onde uma família escolha tomar banho em horário fora de ponta e em outra ocasião dividir o banho entre os horários de ponta e fora ponta. Porém, ainda não se pode determinar e representar o comportamento dessa família ou da faixa de consumo com apenas dois cenários.

Neste sentido, a Lei dos Grandes Números é aplicada, de forma a ter uma estimativa do número de experimentos que serão realizados. Esta lei, descrita no Capítulo 2, considera a realização de um número grande de experimentos, observando a média entre os resultados dos cenários sorteados. No contexto da utilização do chuveiro, a média analisada é relacionada aos custos dos cenários sorteados, e quando esta média cair em um intervalo de precisão desejado o processo é interrompido.

Assim, vários experimentos são realizados, com n cenários sorteados, como mostra a Figura 4.14.

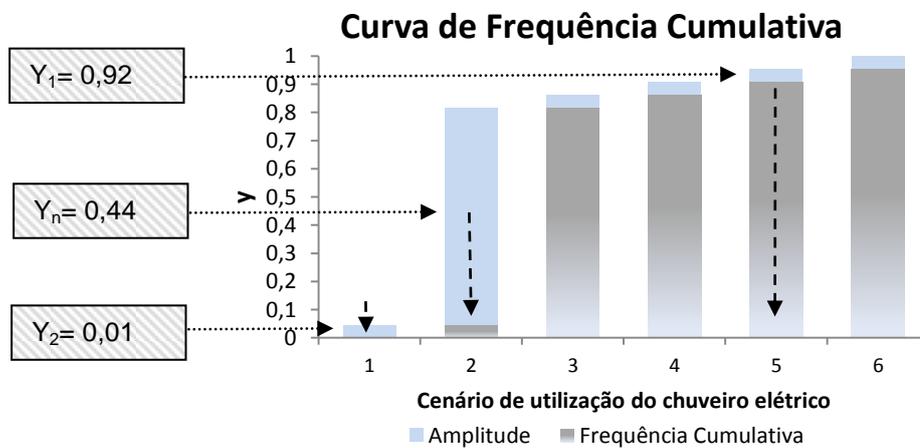


Figura 4.14 – Realização de n experimentos conforme a Lei dos Grandes Números para a obtenção de um cenário médio de utilização do chuveiro elétrico.

Este n experimento corresponderá a um cenário médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de consumo considerada, tendendo a reproduzir a frequência atribuída para cada cenário de utilização do chuveiro.

Com base na metodologia descrita, o próximo capítulo apresenta os resultados das simulações, como o custo médio de utilização do chuveiro para cada faixa de consumo, assim como um provável perfil de utilização do chuveiro com a Tarifa Branca.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

O processo de simulação, descrito no capítulo anterior, mostra a elaboração de curvas de frequência acumulada, como forma de modelar o comportamento dos consumidores frente a aplicação de uma tarifa horária. A modelagem considerou os indicadores do SINPHA para a criação dos cenários de utilização do chuveiro elétrico, assim como para atribuição de prováveis tendências de uso do chuveiro elétrico considerando a tarifa branca durante o dia. O indicador de Redução Incentivada na Ponta é a base para o processo de simulação, já que não se sabe como o consumidor poderá reagir a uma tarifa horária, podendo manter os hábitos atuais ou mudá-los dependendo da capacidade e predisposição de modulação de cada um. Os resultados oriundos da metodologia são analisados considerando a avaliação de um pequeno número de consumidores e em seguida, uma análise coletiva buscando exemplificar o comportamento de um conjunto.

5.1 Análise de custos de utilização do chuveiro elétrico para o consumidor

5.1.1 Faixa de 0 a 50 kWh

Para uma análise individual de comportamento foi considerado um grupo de 10 consumidores ou famílias. No processo de simulação são gerados os números aleatórios e escolhidos os cenários, de acordo com a frequência de cada um. A Tabela 5.1 apresenta os casos sorteados para a análise, onde a primeira coluna mostra um conjunto de 10 famílias sorteadas de forma aleatória pelo Método de Monte Carlo. A segunda coluna mostra o respectivo número aleatório que dá origem ao cenário escolhido. As demais colunas mostram o número de banhos em cada posto e o custo médio de utilização do chuveiro elétrico associado a cada cenário escolhido.

Tabela 5.1 - Análise de cenários de utilização do chuveiro elétrico para um pequeno grupo de consumidores da faixa de 0 a 50 kWh.

	Número aleatório gerado	Cenário escolhido	Ponta	Intermediário	Fora de Ponta	Custo (Rc) %
Família 1	0,0217	1	2	0	0	94,29
Família 2	0,4544	2	0	0	2	-19,87
Família 3	0,9259	5	1	1	0	58,57

Tabela 5.1 - Análise de cenários de utilização do chuveiro elétrico para um pequeno grupo de consumidores da faixa de 0 a 50 kWh (*continuação*).

	Número aleatório gerado	Cenário escolhido	Ponta	Intermediário	Fora de Ponta	Custo (Rc) %
Família 4	0,1042	2	0	0	2	-19,87
Família 5	0,3999	2	0	0	2	-19,87
Família 6	0,8193	3	0	2	0	22,85
Família 7	0,0238	1	2	0	0	94,29
Família 8	0,9395	5	1	1	0	58,57
Família 9	0,5666	2	0	0	2	-19,87
Família 10	0,8889	4	0	1	1	1,48

Nesta simulação é mostrado o comportamento diverso de consumo de um grupo de famílias durante um dia com a aplicação da tarifa branca, onde nota-se que este conjunto apresentou diferentes reações ao sinal tarifário devido a atribuição de frequências iniciais mostradas no capítulo anterior. Para as 10 famílias sorteadas, por exemplo, apenas 4 escolheram utilizar o chuveiro em horário fora de ponta, obtendo desconto de 19,87%. As demais famílias que concentraram parte de seus banhos em horários de ponta e intermediário obtiveram acréscimo no custo de utilização do chuveiro elétrico ou certa equivalência de custos como é o caso da Família 10.

Assim, pode-se inferir que estes consumidores que não modularam os seus hábitos de consumo e que fazem parte da parcela que tomaria banho mesmo com uma tarifa mais cara no horário de ponta, não se sentiriam beneficiados com esta nova modalidade, o que, provavelmente, os levariam a desejar retornar a modalidade convencional. Este acréscimo na fatura de energia que se daria em função de um maior custo de utilização do chuveiro elétrico, representaria uma responsabilidade atribuída pelo uso da rede no período de maior carregamento do sistema, e que de certa forma, estes consumidores estariam contribuindo para a expansão das redes da concessionária.

Por outro lado, os consumidores que optaram em modular a sua carga, teriam uma menor responsabilidade pelos custos do sistema, refletindo em uma redução no custo de utilização do chuveiro. Porém, as famílias que obteriam desconto no uso do chuveiro elétrico, só se sentiriam motivados em modular a sua carga caso considerem que o custo associado a sua modulação seja compensador em relação ao benefício alcançado (ANEEL, 2012h).

Embora o comportamento individual seja diferente para cada família, tem-se uma tendência de comportamento à medida que são analisadas um número maior de famílias, com é o caso, por exemplo, de um transformador de distribuição ou um alimentador com vários consumidores. A Figura 5.1 mostra uma variação no número de famílias que são analisadas em relação média de custos de utilização do chuveiro elétrico. Ressalta-se que, cada ponto no gráfico corresponde a média realizada entre os custos dos cenários sorteados.

Custo da utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca

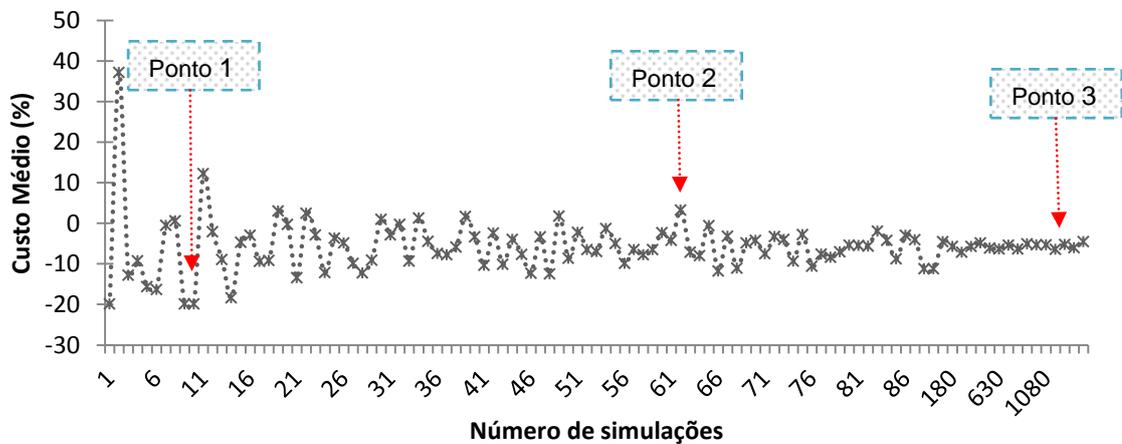


Figura 5.1 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 0 a 50 kWh.

A Figura 5.1 mostra uma tendência de comportamento à medida que o número de cenários analisados torna-se maior, assemelhando-se com um comportamento de um conjunto de consumidores atendidos por um alimentador, por exemplo. Observa-se que foram destacados três pontos na Figura 5.1, tomados de forma aleatória, de maneira a analisar o resultado em função do número de cenários que são sorteados. A Tabela 5.2 mostra as características destes três pontos.

Tabela 5.2 - Análise da variação do custo médio de utilização do chuveiro elétrico em função do número de cenários sorteados para a faixa de 0 a 50 kWh.

	Número de cenários sorteados	Custo Rc (%)
Ponto 1	10	-19,88
Ponto 2	50	3,25
Ponto 3	1000	-5,30

Observa-se que o Ponto 1 representaria um conjunto de 10 famílias sorteadas, que juntas teriam uma média no custo da energia com a utilização do chuveiro elétrico de -19,88%. Em torno deste ponto observa-se também uma maior variação dos resultados. A média de custo é alterada para 3,25% quando o número de famílias analisadas sobe para 50. Neste caso, nota-se uma menor variação dos resultados em torno deste posto. O Ponto 3 poderia representar um conjunto de famílias em um alimentador, onde o resultado médio seria de -5,30%. Esta diferença de resultados é respaldada pela Lei dos Grandes Números, mencionada no Capítulo 2, pois à medida que são realizadas inúmeros experimentos, tem-se uma maior representatividade do comportamento da faixa de consumo em análise, evidenciado por uma menor variação dos resultados nas últimas simulações realizadas.

Em função do comportamento esperado para esta faixa de consumo, a Figura 5.2 mostra uma provável concentração de energia por posto tarifário, onde nota-se que o nível de concentração no horário fora de ponta condiz com a frequência atribuída no modelo de simulação mostrado na seção 4.3.1. Logo, este cenário de utilização do chuveiro elétrico representaria um provável comportamento da faixa considerada.

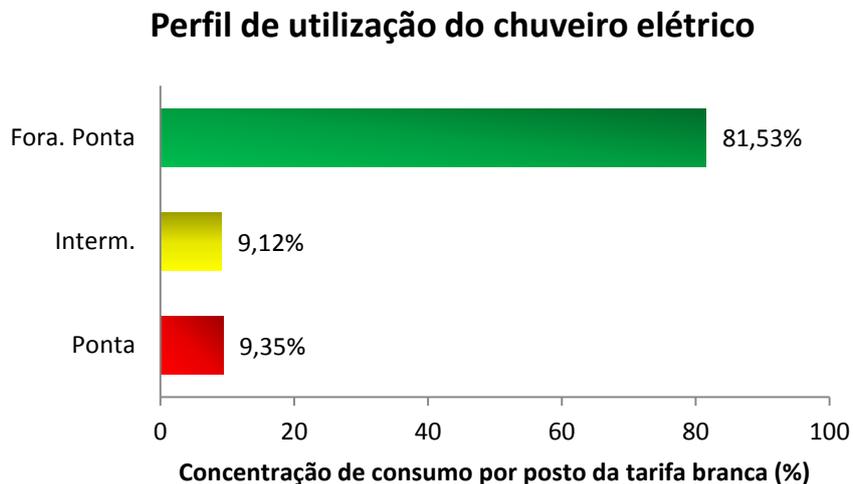


Figura 5.2 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 0 a 50 kWh.

5.1.2 Faixa de 51 a 100 kWh

A Tabela 5.3 mostra o resultado de simulação para 10 famílias de forma a exemplificar a aleatoriedade da utilização do chuveiro elétrico dentro da faixa de consumo.

Tabela 5.3 - Análise de cenários de utilização do chuveiro elétrico para um pequeno grupo de consumidores para a faixa de 51 a 100 kWh.

	Número aleatório gerado	Cenário escolhido	Ponta	Intermediário	Fora de Ponta	Custo Rc (%)
Família 1	0,9971	15	1	3	0	40,71
Família 2	0,6314	10	0	1	3	-9,19
Família 3	0,1731	2	0	0	4	-19,87
Família 4	0,6167	10	0	1	3	-9,19
Família 5	0,1707	2	0	0	4	-19,87
Família 6	0,6401	10	0	1	3	-9,19
Família 7	0,8943	11	3	0	1	65,75
Família 8	0,3293	2	0	0	4	-19,87
Família 9	0,1716	2	0	0	4	-19,878
Família 10	0,1481	2	0	0	4	-19,87

A mesma análise anterior é realizada, onde nota-se uma diversidade de consumo, porém com certa tendência de utilização dos cenários 2 e 10, que possuem uma maior frequência atribuída de acordo com a seção 4.3.1. A Figura 5.3 mostra a análise de custo de utilização do chuveiro elétrico quando o número de cenários ou famílias analisadas torna-se maior.

Custo da utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca

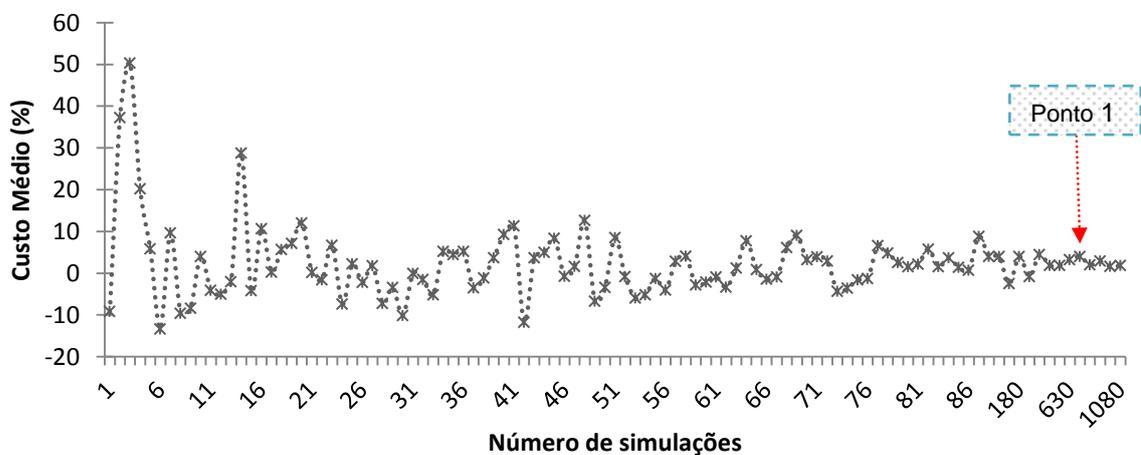


Figura 5.3 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 51 a 100 kWh.

Observa-se que a partir de um determinado número de cenários analisados tem-se uma tendência de comportamento da faixa de consumo. De forma a evidenciar esta tendência, considera-se que o Ponto 1 da simulação seja expandido para a Figura 5.4.

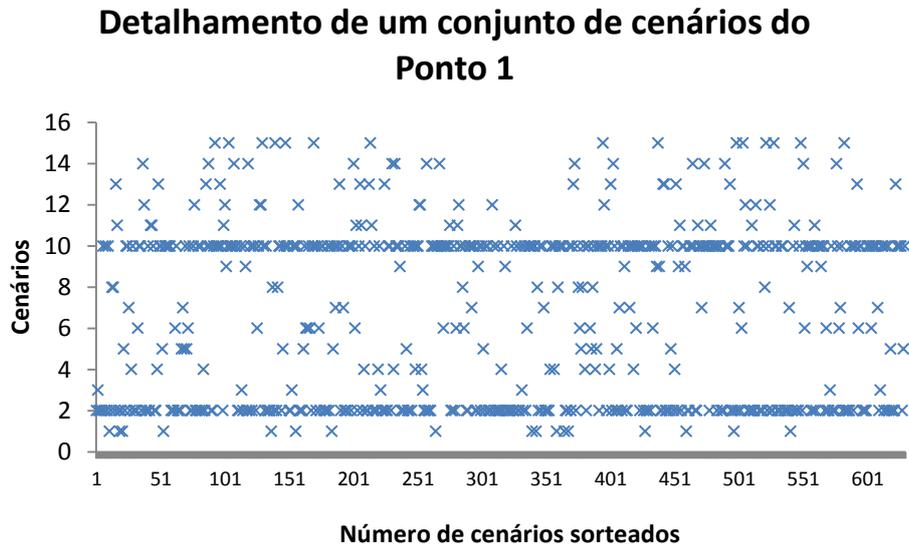


Figura 5.4 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores do Ponto 1 para a faixa de 51 a 100 kWh.

Neste gráfico, o eixo vertical representa os cenários da faixa de consumo e o eixo horizontal o número de cenários sorteados. Cada ponto no gráfico representa um cenário de utilização do chuveiro elétrico ou, por exemplo, o cenário escolhido por cada família dentro de um conjunto de 624 famílias analisadas. Observa-se que dentro dos cenários sorteados, há uma tendência de escolha entre os cenários 10 e 2, evidenciado pela concentração de pontos nestes dois cenários. No entanto, mesmo com uma tendência de utilização do chuveiro em horário fora de ponta, o que caracteriza estes dois cenários, a faixa de consumo obteve um acréscimo de 2% no custo de utilização do chuveiro elétrico. A Figura 5.5 mostra a concentração de energia por posto tarifário em função deste comportamento.

Perfil de utilização do chuveiro elétrico

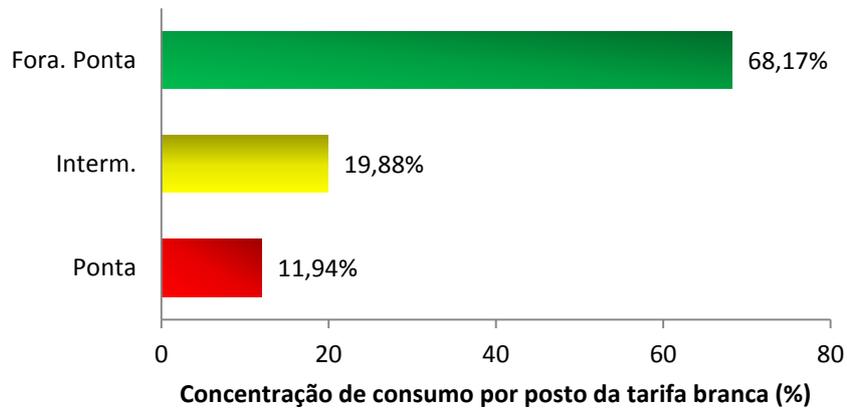


Figura 5.5 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 51 a 100 kWh.

5.1.3 Faixa de 101 a 200 kWh

A Figura 5.6 mostra o comportamento de um grupo de consumidores, onde cada ponto no gráfico é um cenário de utilização do chuveiro elétrico.

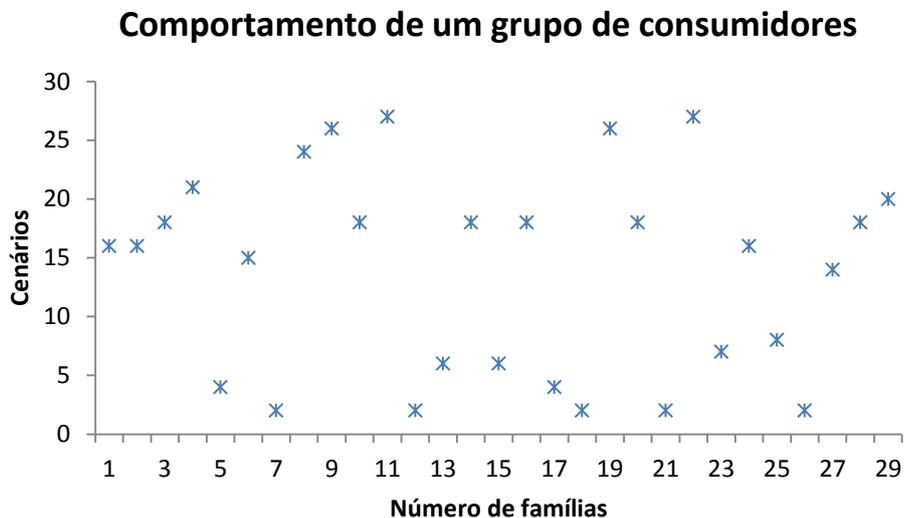


Figura 5.6 - Comportamento de um pequeno grupo de consumidores quanto à escolha dos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 101 a 200 kWh.

Observa-se que neste número reduzido de cenários analisados não se tem nenhuma tendência de uso do chuveiro elétrico, ilustrando a aleatoriedade da utilização do chuveiro com a aplicação de uma tarifa horária. Ressalta-se que muitos dos cenários mostrados na Figura 5.6 são praticados hoje pelo consumidor, porém

sem conhecimento destes hábitos e dos custos que estão inferindo ao sistema, em razão da aplicação de uma tarifa fixa durante o dia. O comportamento esperado para esta faixa de consumo quanto ao número de cenário analisados é mostrado na Figura 5.7.

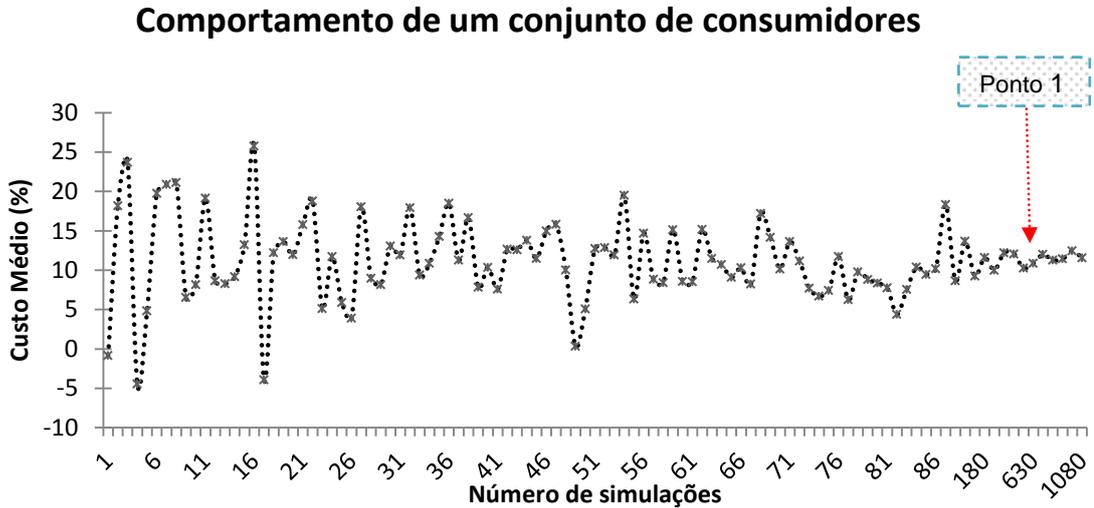


Figura 5.7 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 101 a 200 kWh.

A Figura 5.8 mostra o detalhamento do Ponto 1 da Figura 5.7, com 630 cenários para a análise.

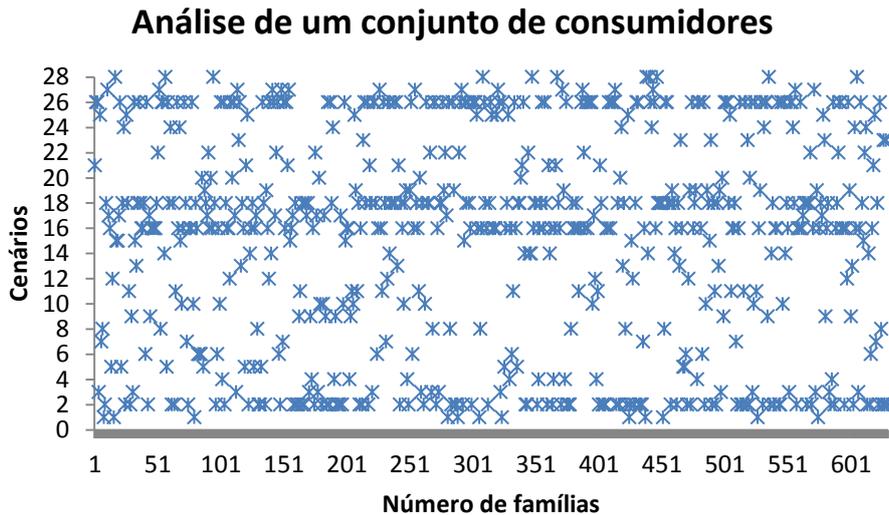


Figura 5.8 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores do Ponto 1 para a faixa de 101 a 200 kWh.

Observa-se que para esta faixa de consumo há uma tendência entre os cenários 26, 18, 16 e 2. Estes cenários, mostrados novamente na Tabela 5.4, possuem grande parte dos banhos concentrados em horário fora de ponta. No entanto, a faixa de consumo apresentou um acréscimo médio no custo de utilização do chuveiro de 10%.

Tabela 5.4 - Cenários com maior tendência para a faixa de 101 a 200 kWh.

Cenários	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Custo (Rc) %
2			6	-19,87
16		1	5	-12,75
18	1		5	-0,84
26		2	4	-5,63

A Figura 5.9 mostra a concentração de consumo por posto tarifário como resultado do último experimento realizado.

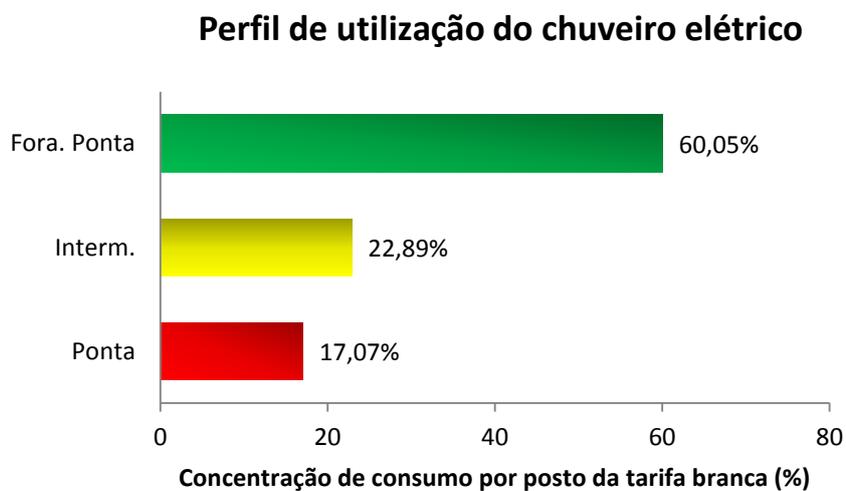


Figura 5.9 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 101 a 200 kWh.

5.1.4 Faixa de 201 a 300 kWh

A Figura 5.10 mostra o comportamento de um grupo de consumidores desta faixa de consumo.

Comportamento de um grupo de consumidores

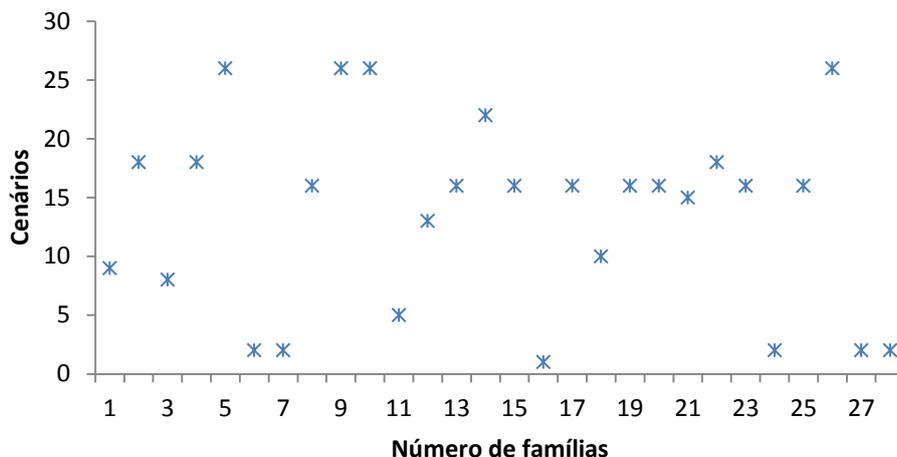


Figura 5.10 - Comportamento de um pequeno grupo de consumidores quanto a escolha dos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 201 a 300 kWh.

Nota-se certa aleatoriedade de utilização do chuveiro para um pequeno número de consumidores. Porém a medida que o número de cenários analisados torna-se maior, observa-se uma tendência maior de escolha de cenários, como mostra a Figura 5.11.

Análise de um conjunto de consumidores

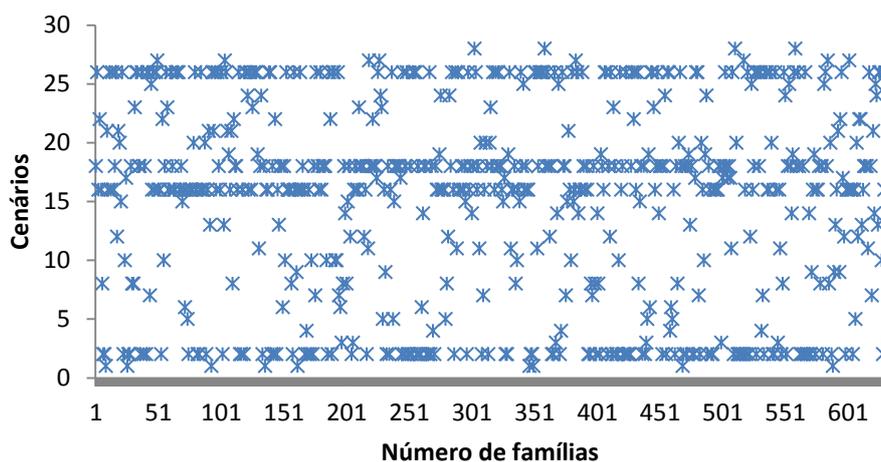


Figura 5.11 - Cenários sorteados para um conjunto de consumidores da faixa de 201 a 300 kWh.

Mesmo com esta tendência de cenários com concentração de consumo fora de ponta, a faixa de consumo obteve-se acréscimo de 5% no custo de utilização do

chuveiro. A Figura 5.12 mostra a variação do número de cenários em função do custo médio de utilização do chuveiro.

Comportamento de um conjunto de consumidores

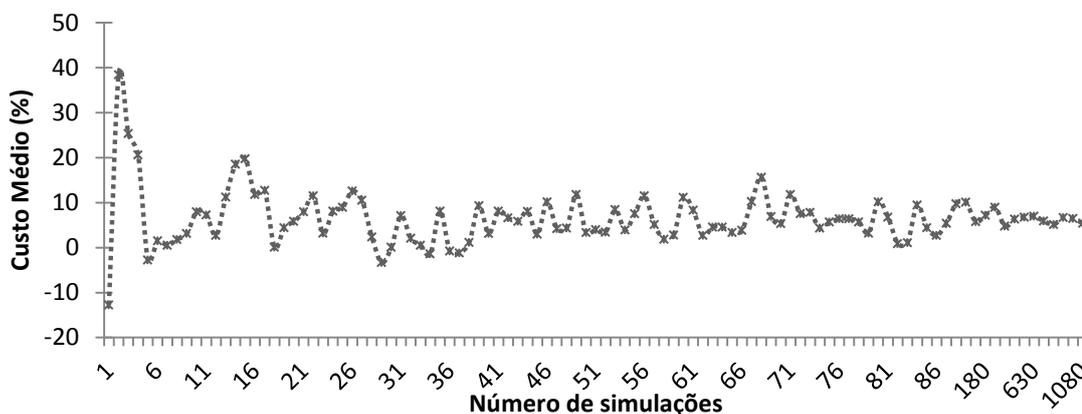


Figura 5.12 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 201 a 300 kWh.

Em função deste custo médio de utilização do chuveiro, a Figura 5.13 mostra a concentração média de consumo do chuveiro elétrico por posto tarifário, considerando o último experimento.

Perfil de utilização do chuveiro elétrico

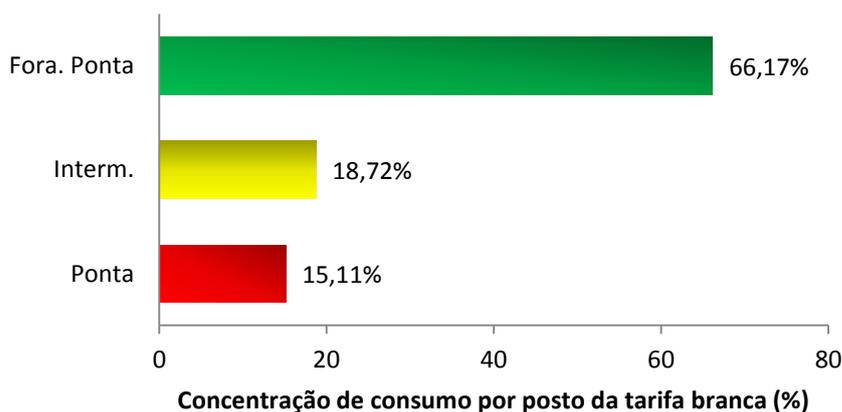


Figura 5.13 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 201 a 300 kWh.

5.1.5 Faixa de 301 a 500 kWh

Assim como as demais faixas de consumo, para um pequeno número de consumidores ou famílias, tem-se um comportamento aleatório de utilização do

chuveiro elétrico. A Figura 5.14 traz o resultado de análise de 28 consumidores em comparação com a análise de 630 consumidores.

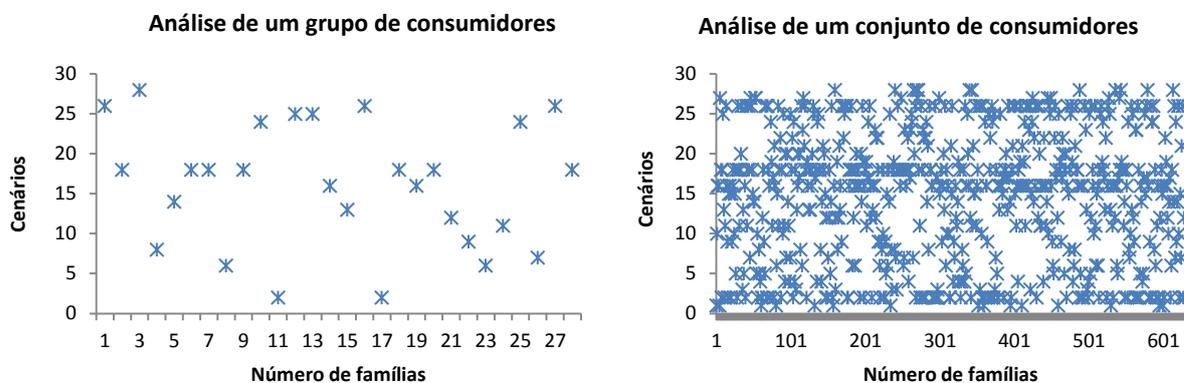


Figura 5.14 - Comparação entre a análise de um pequeno grupo de consumidores e um conjunto quanto aos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 301 a 500 kWh.

Observa-se, que ao contrário das outras faixas de consumo, há uma maior uniformidade de escolha entre os cenários de banho, ocasionada principalmente pela maior predisposição da faixa em utilizar o chuveiro em horário de ponta. Como resultado, esta faixa de consumo possui uma média de custo de 18% na utilização do chuveiro elétrico. Esta tendência é observada também pela Figura 5.15, onde mostra a média de custo de utilização do chuveiro elétrico em função do número de consumidores avaliados.

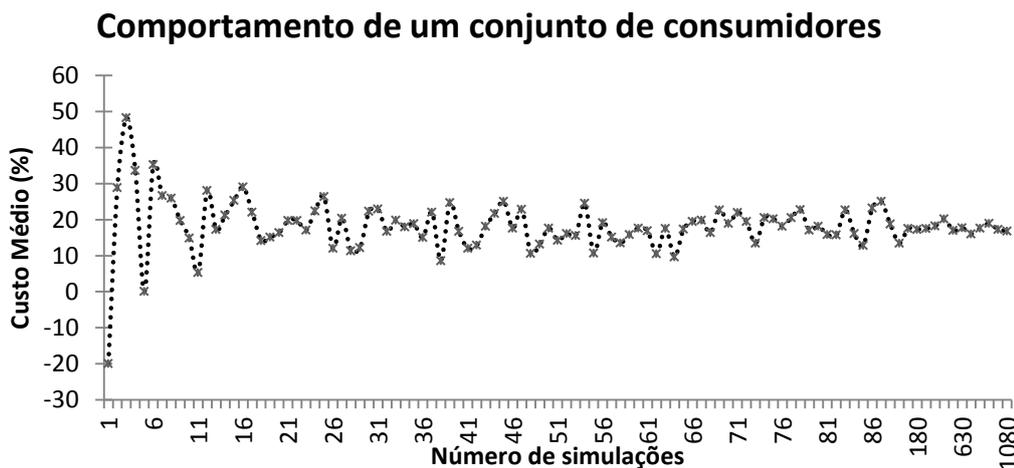


Figura 5.15 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de 301 a 500 kWh.

A Figura 5.16 mostra a concentração de energia por posto tarifário, onde nota-se uma concentração menor de consumo no horário fora de ponta comparada a

faixa de consumo anterior, e que conseqüentemente, leva a um maior custo de utilização do chuveiro elétrico.

Perfil de utilização do chuveiro elétrico

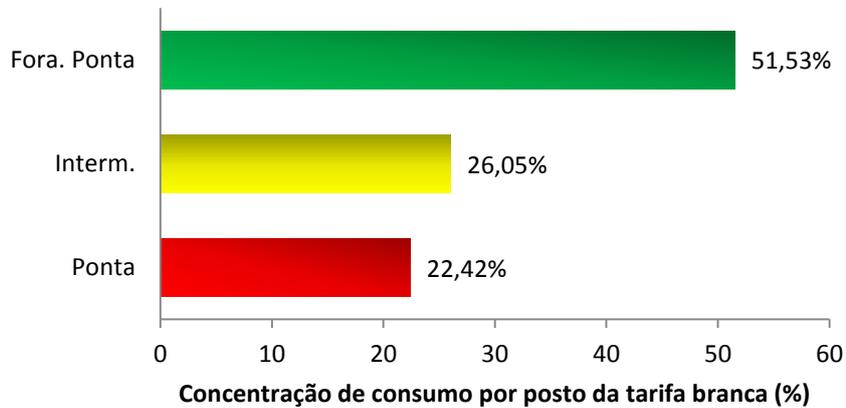


Figura 5.16 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa de 301 a 500 kWh.

5.1.6 Faixa de consumo superior a 500 kWh

A Figura 5.17 mostra a comparação entre a análise de 45 consumidores e 630 consumidores, afim de evidenciar o comportamento de um pequeno grupo de consumidores e de um conjunto.

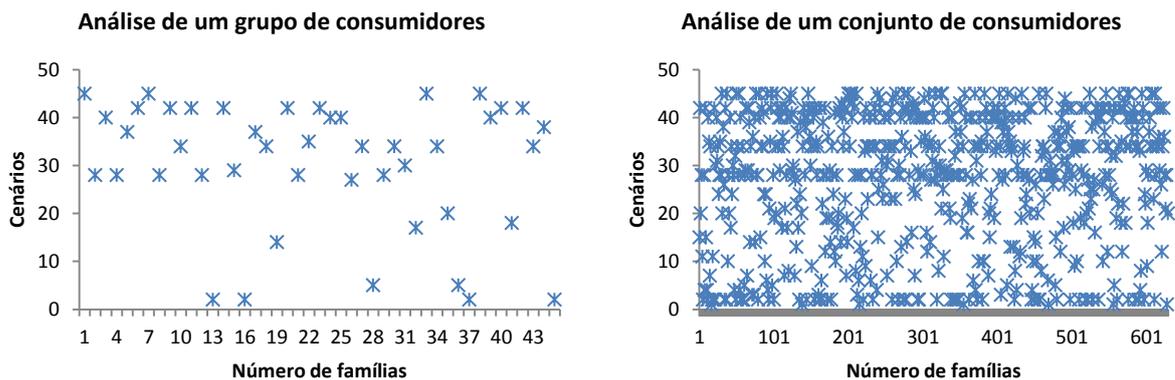


Figura 5.17 - Comparação entre a análise de um pequeno grupo de consumidores e um conjunto quanto aos cenários de utilização do chuveiro elétrico para a faixa de consumo superior a 500 kWh.

Assim como a faixa de consumo anterior, esta também possui uma predisposição maior de utilização do chuveiro em horário de ponta, o que gera certa uniformidade nos cenários. Como resultado, esta faixa de consumo possui uma

média de custo de 12% na utilização do chuveiro elétrico, observado pela tendência da faixa de consumo mostrada na Figura 5.18.

Comportamento de um conjunto de consumidores

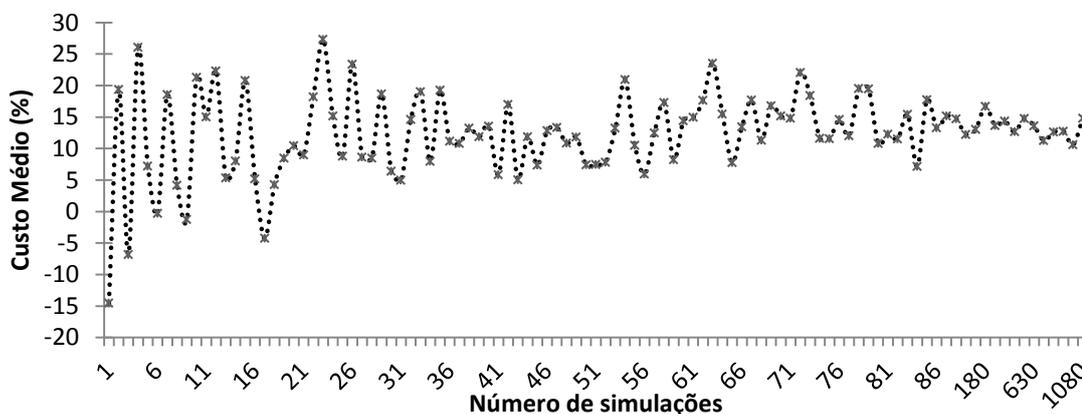


Figura 5.18 - Custo médio de utilização do chuveiro elétrico para a faixa superior a 500 kWh.

A Figura 5.19 mostra a concentração de energia por posto tarifário.

Perfil de utilização do chuveiro elétrico

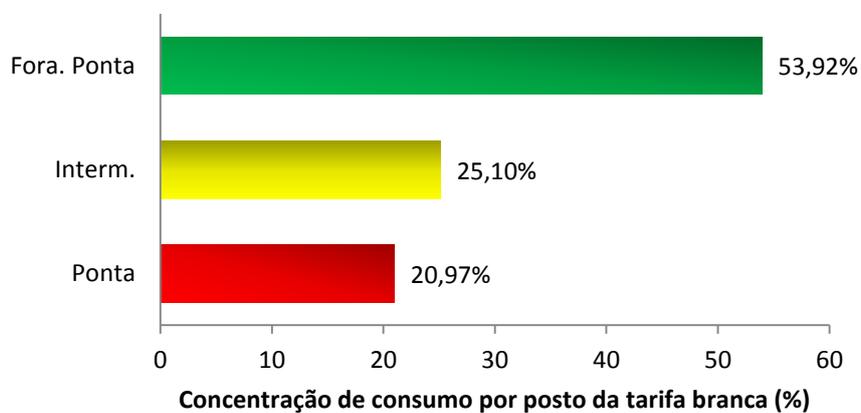


Figura 5.19 - Concentração de consumo de energia por posto tarifário para a faixa superior a 500 kWh.

5.2 Síntese de resultados

Após análise detalhada de cada faixa de consumo, a Tabela 5.5 mostra as informações de custo de utilização do chuveiro elétrico em função do nível de

predisposição em utilizá-lo no horário de ponta. Ressalta-se que estes valores foram extraídos dos últimos experimentos realizados em cada faixa de consumo.

Tabela 5.5 - Custo de utilização do chuveiro elétrico em função do nível de predisposição de utilização no horário de ponta.

Faixa de Consumo (kWh)	Porcentagem de aumento ou redução no custo da energia (%)	Predisposição em utilizar o chuveiro no horário de ponta (%)
301 a 500	18	55,56
>500	12	46,16
101 a 200	10	42,17
201 a 300	5	32,29
51 a 100	2	30,11
0 a 50	-5	22,91

Observa-se que somente a faixa de 0 a 50 kWh obteve redução no custo de utilização do chuveiro elétrico, cerca de 5% de redução em relação a tarifa convencional. Observa-se que esta faixa é a que possui a menor frequência de utilização do chuveiro elétrico em horário de ponta, ou seja, cerca de 77,9% do seu consumo deverá estar inserido em horário fora de ponta.

As demais faixas de consumo apresentaram aumento não só pelo nível de predisposição de utilização de chuveiro em horário de ponta, mas também pelos poucos cenários com redução no custo de utilização do chuveiro, como descrito no Capítulo 4. Este aumento, também deve-se a diferença existente entre a média dos cenários com redução e acréscimo de cada faixa. A Tabela 5.6 mostra a média entre os cenários de cada faixa de consumo.

Tabela 5.6 - Média realizada entre cenários com redução e acréscimo de uma mesma faixa de consumo.

Faixa de Consumo (kWh)	Cenários	Média dos cenários
0 a 50	Redução	-19,87%
	Acréscimo	42,88%
51 a 100	Redução	-14,53%
	Acréscimo	39,64
101 a 200	Redução	-9,77%
	Acréscimo	39,45%

Tabela 5.6 - Média realizada entre cenários com redução e acréscimo de uma mesma faixa de consumo (*continuação*).

Faixa de Consumo (kWh)	Cenários	Média dos cenários
201 a 300	Redução	-9,77%
	Acréscimo	39,45%
301 a 500	Redução	-9,77%
	Acréscimo	39,45%
>500	Redução	-14,04%
	Acréscimo	38,57%

Nota-se que os cenários com acréscimo possuem uma média superior aos cenários com redução, e mesmo com uma atribuição menor de frequência para estes cenários, tendem a reproduzir resultados significativos na simulação. Por exemplo, para a faixa de 0 a 50 kWh, o único cenário com redução possui uma frequência de 77,09% e uma redução de custo de 19,87% em relação a tarifa convencional. Os demais cenários possuem uma frequência de 4,6% cada, enquanto que a média do custo de utilização do chuveiro elétrico entre eles é de 39,64%. O que gera esta diferença de custos é a relação entre os postos da tarifa branca e a tarifa convencional, ou seja, a relação de custo entre o posto de ponta e a tarifa convencional é bem maior do que a relação de benefício obtido pela concentração do consumo em horário fora de ponta.

5.2.1 Perfil de utilização do chuveiro elétrico com a tarifa branca

A concentração média de energia por posto tarifário foi mostrado para cada faixa de consumo como um provável resultado da modulação dos consumidores residenciais face implantação de uma tarifa horária. A Tabela 5.7 mostra novamente a concentração de consumo em função do percentual médio de custo de utilização do chuveiro elétrico.

Tabela 5.7 - Concentração de consumo por posto tarifário em função do custo de utilização do chuveiro elétrico.

Faixa de consumo	Percentual de aumento(%)	Ponta (%)	Interm.(%)	Fora. Ponta (%)
301 a 500	16,87	22,53	25,79	51,68
> 500	13,26	19,76	24,77	55,47
101 a 200	10,43	17,70	23,64	58,66
201 a 300	7,67	16,48	20,43	63,09

Tabela 5.7 - Concentração de consumo por posto tarifário em função do custo de utilização do chuveiro elétrico (*continuação*).

Faixa de consumo	Percentual de aumento(%)	Ponta (%)	Interm.(%)	Fora. Ponta (%)
51 a 100	1,65	11,81	18,84	69,35
0 a 50	-5,40	9,44	8,66	81,90

Através da concentração de energia média em cada posto tarifário pode-se realizar a comparação com o perfil do chuveiro elétrico mostrado na seção 3.2.1 para a região Sul do Brasil. A Figura 5.20 mostra a comparação considerando o perfil de uso do chuveiro elétrico sem gerenciamento dos hábitos (tarifa convencional) e o provável perfil com uma tarifa horária.

Perfil de utilização do chuveiro elétrico

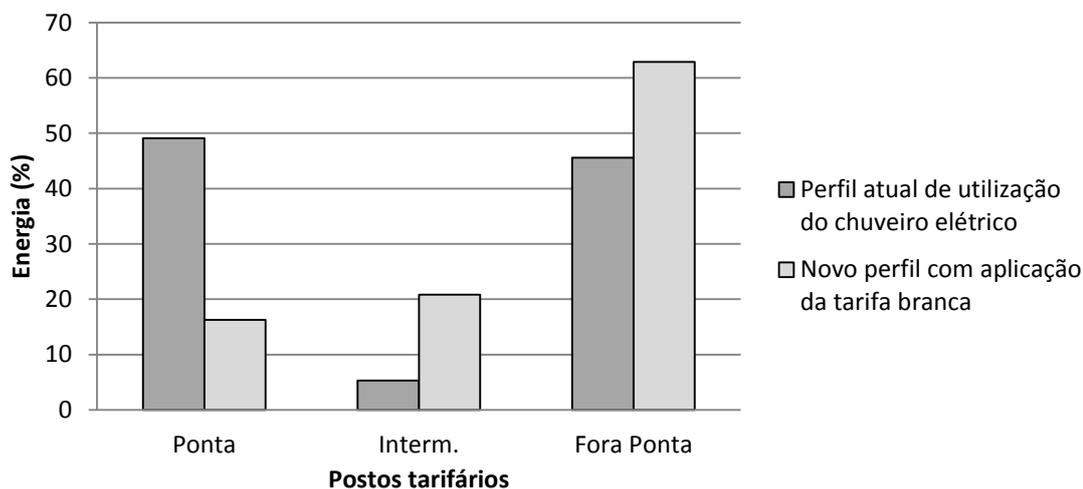


Figura 5.20 - Comparação entre um perfil sem gerenciamento e com gerenciamento através da tarifa branca.

Observa-se que com um gerenciamento do consumidor com a aplicação da tarifa horária branca, tem-se um deslocamento em torno de 30% do horário de ponta para os outros postos tarifários. Este deslocamento de energia possivelmente acarretaria um aumento da eficiência e da confiabilidade de um alimentador de uma concessionária, por exemplo. Em consequência, haveria uma redução considerável na ponta do sistema, pois o chuveiro é um meio de aquecimento amplamente utilizado nas residências. Outra situação observada é o aumento de consumo nos horários intermediários ao de ponta, onde nota-se que com a simulação houve um deslocamento de 15% de consumo, o que do ponto de vista do sistema, torna-se um bom resultado, pois evitaria a coincidência com outras cargas residenciais.

5.2.2 Análise considerando um maior gerenciamento de consumo

Mesmo apresentando benefício para o sistema com um gerenciamento do consumidor frente à tarifa branca, o custo de utilização do chuveiro não se mostrou favorável para o consumidor do ponto de vista financeiro para algumas faixas de consumo. Deste modo será analisado uma modulação de consumo de modo a obter um cenário mais favorável para o consumidor.

Neste sentido, foi realizada uma variação de 10% no nível de predisposição na utilização do chuveiro em horário fora de ponta. Esta variação será realizada de modo que a predisposição inicial, determinada pelo indicador de Redução Incentivada na ponta do SINPHA, seja considerada 10% maior para os cenários com redução no custo de utilização do chuveiro e 10% menor do que o próprio indicador, analisando então, os resultados desta variação para cada faixa de consumo.

Em seguida, novas simulações são realizadas uma vez que o Indicador de Redução Incentivada na Ponta é base para o Método de Monte Carlo e define a frequência atribuída para cada faixa de consumo. A Tabela 5.8 mostra a variação de 10% neste indicador.

Tabela 5.8 - Frequência atribuída considerando uma modulação de 10% de consumo nos horários de ponta.

Faixa de Consumo (kWh)	Cenários	Nº de cenários	Frequência atribuída
0 a 50	Redução	1	87,09
	Acréscimo	5	12,91
51 a 100	Redução	2	79,89
	Acréscimo	13	20,11
101 a 200	Redução	4	67,83
	Acréscimo	24	32,17
201 a 300	Redução	4	77,71
	Acréscimo	24	22,29
301 a 500	Redução	4	54,44
	Acréscimo	24	45,56
>500	Redução	6	63,84
	Acréscimo	39	36,16

Observa-se na Tabela 5.8 que os cenários com redução possuem agora uma frequência atribuída maior do que a apresentada na seção 4.3.1, representando, então, uma maior predisposição do consumidor em utilizar o chuveiro em horário fora de ponta ou um maior comprometimento dos consumidores frente a esta tarifa horária. Com esses novos valores, o processo de simulação é realizado novamente, e a Figura 5.21 mostra a comparação entre o cenário anterior à variação (utilização dos indicadores) e o cenário com a variação de 10%.

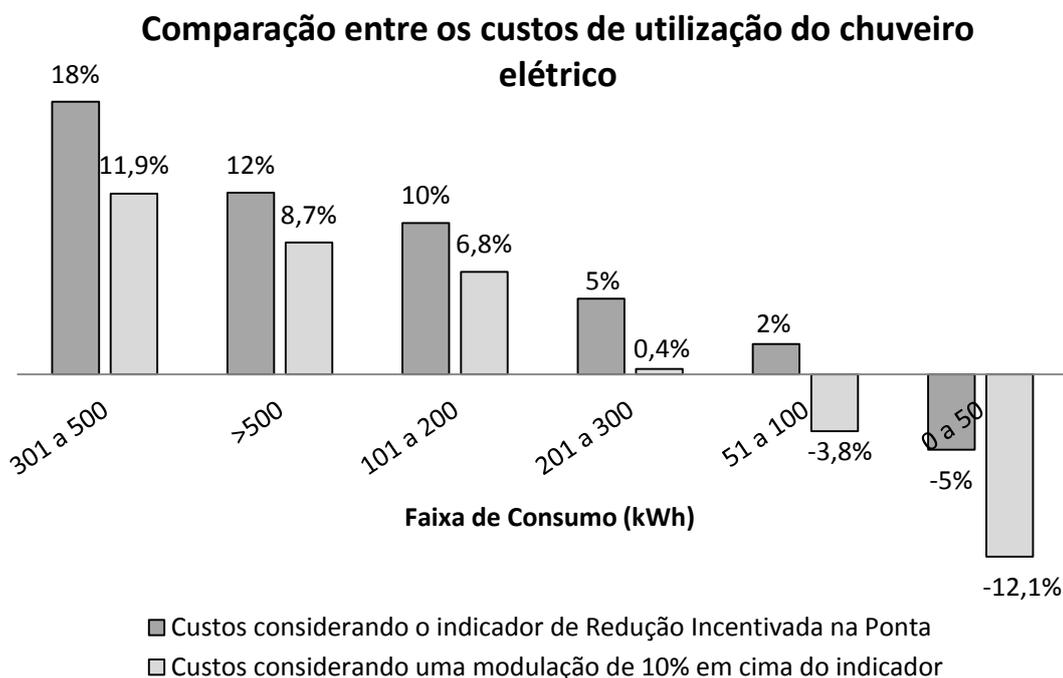


Figura 5.21 - Comparação entre os custos considerando o indicador do PROCEL e uma variação de 10% sobre o indicador.

Observa-se que com uma modulação de 10% da utilização do chuveiro em horário de ponta, os consumidores enquadrados na faixa de 0 a 100 kWh obtiveram uma redução maior no custo da energia, enquanto que, a faixa de 201 a 300 kWh apresentou uma equivalência entre os custos com a tarifa branca e convencional. Porém, mesmo com esta modulação os consumidores das outras faixas de consumo ainda apresentaram um acréscimo no custo médio da utilização do chuveiro elétrico.

Nota-se também, que as faixas que apresentariam redução com esta tarifa, possuem um nível de predisposição de utilização do chuveiro no horário fora de ponta em torno de 80%, o que do ponto de vista do consumidor poderia ser um esforço muito expressivo e que dificultaria a sua migração.

5.3 Sugestões para o emprego da tarifa branca

A migração dos consumidores residenciais para esta nova modalidade tarifária dependerá principalmente de campanhas de conscientização. Elas deverão ser realizadas de modo que este novo conceito seja entregue de forma clara ao consumidor, mostrando medidas eficientes na utilização de seus equipamentos domésticos, quanto a forma e o melhor horário de utilização, pois embora o chuveiro seja uma carga representativa na fatura dos consumidores, o mesmo não será o único responsável pelos acréscimo ou reduções em suas faturas.

Essa migração, também, dependerá de incentivos governamentais, como por exemplo, da substituição do chuveiro elétrico, por outros meios de aquecimento da água para o banho, fornecendo subsídios àqueles consumidores que trocam o sistema de aquecimento da água. Além disso, outro grande motivador para que o consumidor mude o seu perfil de consumo sem que afete o seu nível conforto é a utilização de sistemas que o auxiliem no gerenciamento da energia, como por exemplo, a utilização de eletrodomésticos inteligentes que operam em horários pré-determinados pelo usuário. Pode-se citar, como exemplo, a geladeira e o freezer, que juntos são responsáveis por 27% do consumo em uma residência. Essa alternativa, no entanto, dependerá de incentivos e políticas públicas que os tornem viáveis economicamente ao consumidor.

Outra possibilidade de adaptabilidade do consumidor ao no novo sistema tarifário, diz respeito à geração distribuída. Recentemente foram aprovadas as regras destinadas a reduzir as barreiras para instalação de geração distribuída de pequeno porte em unidades consumidoras (ANEEL, 2012k). Essas regras estabelecem o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e injetar energia na rede em troca de créditos. A regulamentação é válida para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada) (Ávila, 2012). Com isso o consumidor poderá utilizar essa fonte de energia em horários em que a tarifa seja mais cara e comercializar o excesso em horário posterior. Porém torna-se necessário a análise da viabilidade técnica da inserção destas fontes quanto aos custos associados à implantação das mesmas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Como apresentado, os consumidores de baixa tensão são os principais responsáveis pela formação da demanda de ponta e pelos custos horários de expansão do sistema elétrico, reflexo de uma metodologia tarifária que anteriormente visava apenas a expansão do sistema e não a sua eficiência. Com grande representatividade no mercado de baixa tensão, os consumidores residenciais tornam-se o foco principal da aplicação da tarifa horária, pois a curva típica destes consumidores é caracterizada por uma grande concentração de consumo nos horários de ponta do sistema, devido aos hábitos atuais de consumo.

Deste modo, através dos dados do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – PROCEL INFO e do Sistema de Informação de Posse de Eletrodomésticos – SINPHA, foi possível analisar os hábitos de consumo de energia do brasileiro, evidenciando uma grande diversidade de hábitos entre as regiões do país. Em se tratando dessa diversidade, pode-se notar o uso diferenciado de equipamentos e a representatividade tanto no consumo final quanto na ponta da curva de carga destes consumidores. Nesta análise, pôde-se observar que o chuveiro elétrico apresenta grande contribuição na ponta da curva dos consumidores residenciais, principalmente para a região sul do Brasil, onde esta carga teve grande contribuição em relação aos demais equipamentos.

Assim, foram avaliados diversos indicadores de utilização do chuveiro elétrico, já que o gerenciamento desta carga pode ser decisivo no que diz respeito ao controle de gastos com energia elétrica com a aplicação de uma tarifa horária. A análise de indicadores, como o tempo de banho, frequência de utilização, potência dos chuveiros e redução incentivada na ponta, serviram de base para a fundamentação da metodologia aqui proposta, assim como a caracterização de uso deste equipamento na região sul do país.

Como a aplicação de uma tarifa horária trata-se de uma nova experiência tanto para os consumidores quanto para o sistema, a metodologia proposta fez uso dos indicadores de utilização do chuveiro elétrico para estimar e avaliar os efeitos

dessa nova modalidade tarifária para o consumidor. A metodologia foi dividida em etapas de modo a caracterizar possíveis cenários de utilização do chuveiro elétrico e calcular os custos associados a tarifa branca. Com a utilização do Método de Monte Carlo foi possível modelar e estimar o comportamento do consumidor frente a uma tarifa horária analisando a predisposição de utilizar ou não o chuveiro em horário de ponta do sistema.

Com esta predisposição inicial, que conduz o Método de Monte Carlo, obteve-se um cenário médio de custo de utilização do chuveiro elétrico, que por meio de análises pôde-se observar a tendência de comportamento de cada faixa de consumo quanto ao número de cenários ou famílias analisadas, o que é o caso, por exemplo, de um conjunto de consumidores atendidos por um alimentador. A aleatoriedade de consumo também foi observada nas análises individuais, ilustrando que mesmo que um conjunto possa apresentar uma média de acréscimo no uso do chuveiro elétrico com a tarifa branca, muitos consumidores poderiam sair beneficiados com a mesma.

Além disso, notou-se que a tendência de comportamento de cada faixa está relacionada com o nível de predisposição de utilização do chuveiro elétrico em horário fora de ponta, pois, como observado, a única faixa de consumo que obteve redução no custo de utilização do chuveiro elétrico foi a que teve a maior predisposição de tomar o banho em horário fora de ponta, observando-se, então, a necessidade de uma maior modulação e aceitação das outras faixas de consumo.

Mesmo com um cenário desfavorável para algumas faixas de consumo do ponto de vista financeiro, a curva do chuveiro elétrico do SINPHA (atual) comparada com a curva obtida com a tarifa branca, apresentou um provável deslocamento de energia para outros patamares, o que possivelmente acarretaria em um aumento da eficiência e confiabilidade de um alimentador, por exemplo. Tal afirmação pode ser justificada pois o chuveiro é um meio de aquecimento amplamente utilizado nas residências brasileiras e com grande contribuição na ponta do sistema.

Quando considerado uma maior modulação no nível de predisposição de utilização do chuveiro elétrico, notou-se um maior ganho para as faixas de consumo, mas que aparentemente exigiria do consumidor uma mudança expressiva de comportamento, o que talvez, não seja atrativo pelo custo/benefício da adesão.

Desta forma, para que ocorra a efetiva mudança de comportamento do consumidor frente a uma tarifa horária, o nível de informação sobre esta tarifa será fundamental para que o mesmo obtenha benefício. Também, será necessário um grande comprometimento de vários agentes do sistema para que esta tarifa seja posta em prática, com um mínimo de impacto possível tanto para o consumidor quanto para as concessionárias. No entanto, espera-se que à medida que novos projetos - pilotos sejam colocados em prática, espera-se que esta tarifa seja gradativamente aperfeiçoada.

A migração e a adaptação dos consumidores será maior à medida que novas possibilidades surgirão no que diz respeito à medição inteligente, geração distribuída, equipamentos inteligentes, etc. Muitas destas tecnologias auxiliarão o consumidor a mudar os hábitos atuais sem que o seu conforto seja comprometido, permitindo-lhes uma melhor gestão de seu consumo. Além disso, com a geração distribuída, o consumidor poderá usufruir de energia renovável nos horários de maior carregamento do sistema, e, conseqüentemente, evitará o despacho de usinas geradoras utilizadas exclusivamente para atender a ponta do sistema, assim como otimizará os investimentos a serem realizados no sistema elétrico da concessionária.

Finalizando, a metodologia apresentada visou obter um panorama da aplicação de uma nova modalidade tarifária para os consumidores, utilizando dados do PROCEL que refletem o comportamento e os hábitos do consumidor com a utilização do chuveiro elétrico. À medida que novas pesquisas são realizadas e novos projetos – pilotos são colocados em prática, esta metodologia poderá ser adaptada e comparada a dados reais, buscando servir como delineador de futuras ações a serem tomadas visando uma melhor aplicação da tarifa horária, para que a sociedade como um todo saia beneficiada.

6.2 Trabalhos futuros

Há uma série de aspectos que podem ser estudados e implementados na metodologia proposta nesta dissertação. O trabalho pode ser expandido para outras regiões do Brasil, considerando novos equipamentos e novas variáveis para análise, como por exemplo, considerar a representatividade de cada faixa de consumo no mercado da distribuidora. Além disso, poderá ser realizada a análise do ponto de

vista das contribuições para a concessionária sob o foco do planejamento da expansão.

Este trabalho, também pode servir de base para a concepção de um sistema direcionado ao consumidor residencial, visando criar uma ferramenta que possa ser utilizada com o intuito de obter uma visão antecipada dos gastos com a utilização do chuveiro, como também de vários equipamentos domésticos. Assim, o usuário poderia consultar os melhores horários de utilização de equipamentos e se beneficiar de uma fatura menor no final do mês.

6.3 Trabalhos publicados

Ao longo deste trabalho de dissertação foram publicados e apresentados 5 artigos científicos, em eventos nacionais e internacionais, cuja relação segue:

- **EEM'13 – 10th European Energy Market Conference.**

Título do trabalho: *“Residential Market facing the New Challenges of Application of Energy Hourly Rate”*.

Data/Local: 27 a 31 de maio de 2013. Estocolmo, Suécia.

- **POWERENG'13 - International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.**

Título do trabalho: *“Smart Grid and Impact Analysis of the Application Hourly Rate for Residential Consumers using Monte Carlo Method”*.

Data/Local: 13 a 17 de maio de 2013. Istanbul, Turquia.

- **CBQEE'13 - X Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica.**

Título do trabalho: *“Análise e Estudo dos Efeitos da Aplicação da Tarifa Horária nos consumidores Residenciais e Consequências para o Sistema Elétrico”*.

Data/Local: 24 a 28 de junho de 2013. Araxá, Minas Gerais – Brasil.

- **ISGT – LA'13 - II IEEE Power Energy Society Conference on Innovative Smart Grid Technologies Latin America.**

Título do trabalho: *“Smart Grid And The Challenges Of The Application Of An Hourly Rate For Residential Consumer In Brazil”*.

Data/Local: 15 a 17 de abril de 2013. São Paulo, Brasil.

- **UPEC’2012 - 47th International Universities' Power Engineering Conference.**

Título do trabalho: *“Smart Grid and the Low Voltage Consumer Behavior Facing the Dynamic Energy Rates in the Brazil”*.

Data/Local: 4 a 7 de setembro de 2012. Londres. Reino Unido.

REFERÊNCIAS

Alcântara, M. V. P. **Desafios tecnológicos e regulatórios em rede inteligente no Brasil**. O Setor Elétrico, 2011. Edição 66.

Andrade, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional - Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

ANEEL. **Tarifa Branca ao consumidor de baixa tensão valerá com novo medidor**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4921&id_area=90>. Acesso em: 6 de set. de 2012.

_____. **ANEEL publica normas sobre medidores eletrônicos**. ANEEL, 2012c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5912&id_area=90>. Acesso em: 15 de mar. de 2013.

_____. **Caderno Temático 4: Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**. ANEEL, 2005l. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno4capa.pdf>>. Acesso em: 29 de ago. de 2011.

_____. **Decreto nº 62.724**, de 17 de maio de 1968. ANEEL, 1968i. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bdec196862724.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. de 2013.

_____. **Decreto nº 86.463**, de 13 de outubro de 1981. ANEEL, 1981j. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec198186463.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. de 2013.

_____. **Nota Técnica nº 0044/2010**. Audiência pública no intuito de coletar subsídios para Resolução Normativa acerca da implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras do Grupo B. ANEEL, 2010a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/documento/nota_tecnica_0044_2010_srd.pdf>. Acesso em: 31 de ago. de 2011.

_____. **Nota Técnica nº 311/2011**. SRE-SRD/ANEEL - Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica. ANEEL, 2011f. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/nren2011464.pdf>>. Acesso em: 27 de ago. de 2012.

_____. **Nota Técnica nº 360/2010.** SRE-SRD/ANEEL - Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica. ANEEL, 2010e. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_360_2010_sre-srd-aneel.pdf>. Acesso em: 27 de ago. de 2012.

_____. **Nota Técnica nº 197.** Tarifa Horária Branca - Baixa Tensão Parâmetro kz. ANEEL, 2012h. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/029/resultado/nota_tecnica_-_tarifa_branca_-_resultado_ap_29.pdf>. Acesso em: 19 de set. de 2012.

_____. **Nota Técnica nº 362/2010.** Estrutura Tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica - Sinal econômico para a baixa tensão. ANEEL, 2010d. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf>. Acesso em: 30 de ago. de 2011.

_____. **Nota Técnica nº 1/2013** - Proposta de regulamentação acerca das disposições comerciais para a aplicação da modalidade tarifária horária branca. ANEEL, 2013j. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/043/documento/nt-001-src-tarifa_branca6.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2013.

_____. **Resolução Homologatória nº 1296.** Homologia resultado da terceira revisão tarifária COPEL. ANEEL, 2012i. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/017/resultado/reh20121296.pdf>>. Acesso em: 19 de set. de 2012.

_____. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. ANEEL, 2012k. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 09 de mai. de 2012.

_____. **Resolução Normativa nº 502.** Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B. ANEEL, 2012b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>>. Acesso em: 19 de set. de 2012.

_____. **Submódulo 7.1 e 7.2.** Procedimentos Gerais (PRORET). ANEEL, 2012g. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=702>>. Acesso em: 19 de set. de 2012.

Araújo, S. G.; Vieira, J. G. **Automação da Distribuição e a Smart Grid - Parte 1.** Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/automacao-da-distribuicao-e-a-smart-grid-parte-1/>>. Acesso em: 28 de fev. de 2013.

Ávila, F. **Novas regras da ANEEL prometem incentivar renováveis**. Instituto Carbono Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/reportagens_carbonobrasil/noticia=730394>. Acesso em: 09 de mai. de 2012.

Board, Ontario Energy. **Ontario Smart Price Pilot**, 2007. Disponível em: <www.ontarioenergyboard.ca>. Acesso em: 25 de jun. de 2013.

_____. **Ontario Electricity Time-of-use Price Period**. Board, 2013a. Disponível em: <http://www.ontarioenergyboard.ca/OEB/_Documents/For+Consumers/TOU_prices_Winter.pdf>. Acesso em: 25 de jun. de 2013.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional**. Brasília, DF: Corporate Financial Center, 2012.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Tarifa Amarela - Estruturação e Implantação, Avaliação do Projeto Piloto – Relatório Final**. 1998.

Costa, G. **Brasil quer rede inteligente para diminuir perda de energia**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/meio-ambiente-e-energia/energia/noticias/brasil-quer-rede-inteligente-para-diminuir-perda-de-energia>>. Acesso em: 23 de fev. de 2012.

Depuru, S.S.S.R., et al. **Smart meters for power grid — Challenges, issues, advantages and status**. Power Systems Conference and Exposition (PSCE), IEEE/PES. 2011.

Deutschland, Revista. **Feira de Hannover: Energias renováveis em pauta**. Embaixada e Consulados Gerais da Alemanha no Brasil. Disponível em: <http://www.brasil.diplo.de/Vertretung/brasilien/pt/__pr/DZBrasilia__Artigos/Antigos/Ciencia/060411__feirahannover.html>. Acesso em: 1 de dez. de 2011.

Duarte, D. P., et al. **Brazilian Smart Grid Roadmap - An innovative methodology for proposition and evaluation of Smart Grid functionalities for highly heterogeneous distribution networks**. Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On , vol., no., pp.1,8, 15-17 April 2013.

Falco, R. **Smart Grid - Tendências e Aplicações na Europa**. ABINNETEC. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2007/arquivos/s1704.pdf>>. Acesso em: 6 de mar. de 2013.

Farhangi, H. **The path of the smart grid**. Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 8, no. 1, pp.18,28, 2010.

Freitas, K. **Alemanha fechará usinas nucleares até 2022**. Disponível em: <<http://www.brasilalemanhanews.com.br/Noticia.aspx?id=1513>>. Acesso em: 1 de dez. de 2011.

Gas, British. **Report shows smart meters are changing our approach to energy**. Disponível em: <<http://www.britishgas.co.uk/blog/articles/report-shows-smart-meters-are-changing-the-way-we-think-about-energy>>. Acesso em: 5 de mar. de 2013.

Grzeidak, E., et al. **Qualidade de energia elétrica no contexto de smart grid**. O Setor Elétrico. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed68_fasc_smart_grid_s_cap4.pdf>. Acesso em: 15 de abr. de 2013.

Hernandes, L., et al. **Implantação de projetos pilotos de redes inteligentes no Brasil**. O Setor Elétrico. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed67_fasc_smart_grid_s_cap3.pdf>. Acesso em 10 de abr. de 2013.

INFO, PROCEL. **SINPHA - Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC-A79D-B43A839B00E9%7D&Team=¶ms=itemID=%7BA797016A-8D13-4E7B-B5C3-0ECE28880269%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 19 de abr. de 2013.

Insight, Berg. **Smart Metering in North America and Asia-Pacific**. Disponível em: <<http://www.bergsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-smnaap2-ps.pdf>>. Acesso em: 8 de dez. de 2011.

Inteligentes, Redes. **Base instalada de medidores inteligentes pode chegar a 350 milhões na Ásia-Pacífico até 2016**. Disponível em: <<http://www.redeinteligente.com/2011/03/04/base-instalada-de-medidores-inteligentes-pode-chegar-a-350-milhoes-na-asia-pacifico-ate-2016/>>. Acesso em: 7 de dez. de 2011.

Lamin, H. **Medição Eletrônica em Baixa Tensão: Aspectos Regulatórios e Recomendações para implantação**. 2009. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Hugo_Lamin.pdf>. Acesso em: 2 de set. de 2011.

llc, Northeast group. **Emerging Markets Smart Grid - 25 Country Overview**. Disponível em: <<http://www.northeast-group.com/>>. Acesso em: 27 de mar. de 2013.

Luiz, F. C. **O que é Smart grid?**. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/o-que-e-smart-grid/>>. Acesso em: 2 de mar. de 2013.

Maggi, B. **Projeto de lei do senado nº 84, de 2012**. Senado Federal. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=105231&tp=1>>. Acesso em: 2 de mar. de 2013.

Manto, J. E. **Energias renováveis**. Representações da República Federal da Alemanha no Brasil. Disponível em: <http://www.brasil.diplo.de/Vertretung/brasilien/pt/___pr/Nachrichten_20Archiv/26.10_20Usina_20H_C3_ADbrida__pt.html>. Acesso em: 1 de dez. de 2011.

Moreira, D. A. **Pesquisa Operacional - Curso Introdutório**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. Vol. 2.

News, Smart Grid. **Oportunidades Smart Grid para mercados emergentes na próxima década**. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/oportunidades-smart-grid-para-mercados-emergentes-na-proxima-decada/>>. Acesso em: 14 de mar. de 2013.

Paulino, M. E. C. **Smart Grids - Redes Inteligentes**. O Setor Elétrico. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed65_fasc_smartgrid_cap1.pdf>. Acesso em: 3 de mar. de 2013.

PROCEL, Eletrobrás. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**. Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AA7196-E64E-4FC0-9567-994B77FB24DE%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 8 de mai. de 2012.

Research, Pike. **Smart Meters in Asia Pacific**. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/research/smart-meters-in-asia-pacific>>. Acesso em: 8 de dez. de 2011.

Santos, P. E. S. **TARIFA DE DISTRIBUIÇÃO PARA UNIDADES CONSUMIDORAS E MICRO- GERADORES CONSIDERANDO A ELASTICIDADE- PREÇO DAS CARGAS**. TESE - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, UNIFEI : s.n., 2008.

Savers, Green. **Siemens leva projeto ambicioso de smart grid a Wildpoldsried, na Alemanha.** Green Savers. Disponível em: <<http://www.greensavers.pt/2011/08/23/siemens-leva-projecto-ambicioso-de-smart-grid-a-wildpoldsried-na-alemanha/#comments>>. Acesso em: 1 de dez. de 2011.

SGCC – Smart Grid Consumer Collaborative. **Consumer Pulse Research Program Wave 2 - Summary of Findings.** SmartGrid Consumer Collaborative. Disponível em: <<http://smartgridcc.org/wp-content/uploads/2012/01/SGCC-Consumer-Pulse-Wave-2-Summary.pdf>>. Acesso em: 6 de mar. de 2013.

_____. **New Reseach: Consumer Pulse Wave 3.** Smart Grid Consumer Collaborative. SGCC, 2012a. Disponível em: <<http://smartgridcc.org/news-events/new-research-consumer-pulse-wave-3>>. Acesso em: 6 de mar. de 2013.

Toledo, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes.** Coordenador Geral Fabio Toledo - Vários colaboradores. Rio de Janeiro : Brasport, 2012.

Torriti, J. **Price-based demand side management: Assessing the impacts of time-of-use tariffs on residential electricity demand and peak shifting in Northern Italy.** Energy, Volume 44, Issue 1, 2012, Pag. 576-583.

UK, Energy. **Smart Metering Projects Map.** Disponível em: <<https://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF8&oe=UTF8&msa=0&msid=115519311058367534348.0000011362ac6d7d21187>>. Acesso em: 27 de mar. de 2013.

Xue-song, Z., Li-qiang, C., You-jie, M. **Research on Smart Grid Tecnology.** Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference. 2010. Vol. 3, pp.V3-599-V3-603, 22-24.

Zapata, C. J. **Análisis Probabilístico y Simulación.** 2010.

Zeiss, Geoff. **Smart Grid to Enable the Low Carbon Economy in the UK: The Vision. Between the Poles.** Disponível em: <<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=UK>>. Acesso em: 6 de dez. de 2011.

APÊNDICE A – MÉTODO DE MONTE CARLO

O Método de Monte Carlo é uma abordagem de simulação caracterizada pela geração de números aleatórios com base em uma determinada frequência de ocorrência ou probabilidade da variável ou sistema em análise. Esta abordagem é exemplificada a partir da Tabela A.1 que ilustra a frequência de utilização do chuveiro elétrico (número de banhos) de uma determinada faixa de consumo quanto a frequência de ocorrência.

Tabela A. 1 - Distribuição de frequência para a variável em análise.

Número de banhos	Frequência de ocorrência
1	0,06
2	0,12
3	0,17
4	0,28
5	0,05
6	0,27
8 ou mais	0,05

Em uma simulação do comportamento da faixa de consumo, espera-se que o Valor 4 apareça mais que o Valor 3, assim como, os Valores 5 ou 8 apareçam, aproximadamente o mesmo número de vezes dentro da faixa de consumo. Através do MMC é possível avaliar o comportamento da faixa de consumo quanto a frequência de utilização do chuveiro elétrico, e avaliar a tendência de utilização por meio de um processo de simulação.

O método consiste em primeiro definir faixas de valores (intervalos) para a variável na simulação, como mostra a Tabela A.2.

Tabela A. 2 - Definição da faixa de valores correspondentes aos números de banhos da variável.

Número de banhos	Frequência de ocorrência	Freq. Acumulada	Intervalos
1	0,06	0,06	0 - 0,05
2	0,12	0,18	0,06 - 0,17
3	0,17	0,35	0,18 - 0,34

Tabela A. 2 - Definição da faixa de valores correspondentes aos números de banhos da variável (continuação).

Número de banhos	Frequência de ocorrência	Freq. Acumulada	Intervalos
4	0,28	0,63	0,35 - 0,62
5	0,05	0,68	0,63 - 0,67
6	0,27	0,95	0,68 - 0,94
8 ou mais	0,05	1	0,95 - 0,99

Com auxílio da coluna de Frequência Acumulada é atribuído intervalos para cada frequência de utilização do chuveiro elétrico. A coluna de Frequência Acumulada auxilia na elaboração dos intervalos, iniciando em 0,00 e terminando em 0,99. Assim, ao se atribuir ao Valor 1 o intervalo de 0 a 0,05, para o Valor 2 é atribuído a faixa de 0,06 a 0,17, e assim por diante.

Por meio destas atribuições são realizadas as simulações gerando-se números aleatórios, uniformes no intervalo de 0 a 1. Como forma de ilustrar a simulação são realizados 40 experimentos, sendo apresentadas na Tabela A.3 os resultados quanto ao número aleatório gerado e o valor correspondente ao número de banhos da faixa de consumo.

Tabela A. 3 - Resultados de 40 rodadas de simulação.

Aleatório	Simulação	Aleatório	Simulação
0,38	4	0,87	6
0,04	1	0,61	4
0,51	4	0,82	6
0,67	5	0,09	2
0,70	6	0,15	2
0,66	5	0,63	4
0,49	4	0,04	1
0,67	5	0,91	6
0,34	3	0,11	2
0,61	4	0,03	1
0,89	6	0,03	1
0,85	6	0,71	6
0,73	6	0,42	4

Tabela A. 3 - Resultados de 40 rodadas de simulação (*continuação*).

Aleatório	Simulação	Aleatório	Simulação
0,53	4	0,64	5
0,17	2	0,19	3
0,58	4	0,65	5
0,66	5	0,46	4
0,06	2	0,16	2
0,58	4	0,25	3
0,27	3	0,23	3

Observa-se que o primeiro número aleatório encontra-se na faixa de 0,35 a 0,62, resultando no Valor 4. Um segundo número aleatório dá origem ao Valor 1, estando no intervalo de 0 a 0,05. Na Tabela A.4 é mostrada a comparação entre as frequências reais (Tabela A.1) e a simuladas.

Tabela A. 4 - Comparação das frequências reais e simuladas.

Número de banhos	Frequência real	Frequência simulada
1	0,06	0,10
2	0,12	0,15
3	0,17	0,12
4	0,28	0,27
5	0,05	0,15
6	0,27	0,20
8 ou mais	0,05	0

É muito importante notar que, na simulação da variável em análise, nunca se sabe qual será o próximo valor a ser sorteado, embora seja obrigatório que, ao longo do tempo ou pelo aumento no número de simulações, as frequências com que os valores aparecem tendem a representarem as frequências reais mostradas na Tabela A.1, embasados pela Lei dos Grandes Números. O Método de Monte Carlo também pode simular simultaneamente duas ou mais variáveis, assim como utilizar curvas teóricas de distribuição, como, por exemplo, distribuição Normal, Lognormal, Poisson, etc.