



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



ANDRIELE HARUMI HASEGAWA

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA O LEVANTAMENTO DE CONSUMO
RESIDENCIAL**

CAMPO GRANDE

2021

ANDRIELE HARUMI HASEGAWA

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA O LEVANTAMENTO DE CONSUMO
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e
Urbanismo e Geografia, como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro(a)
Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Ruben Barros Godoy

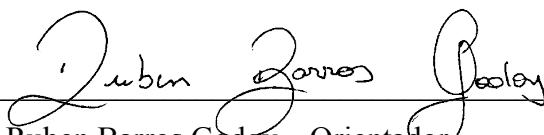
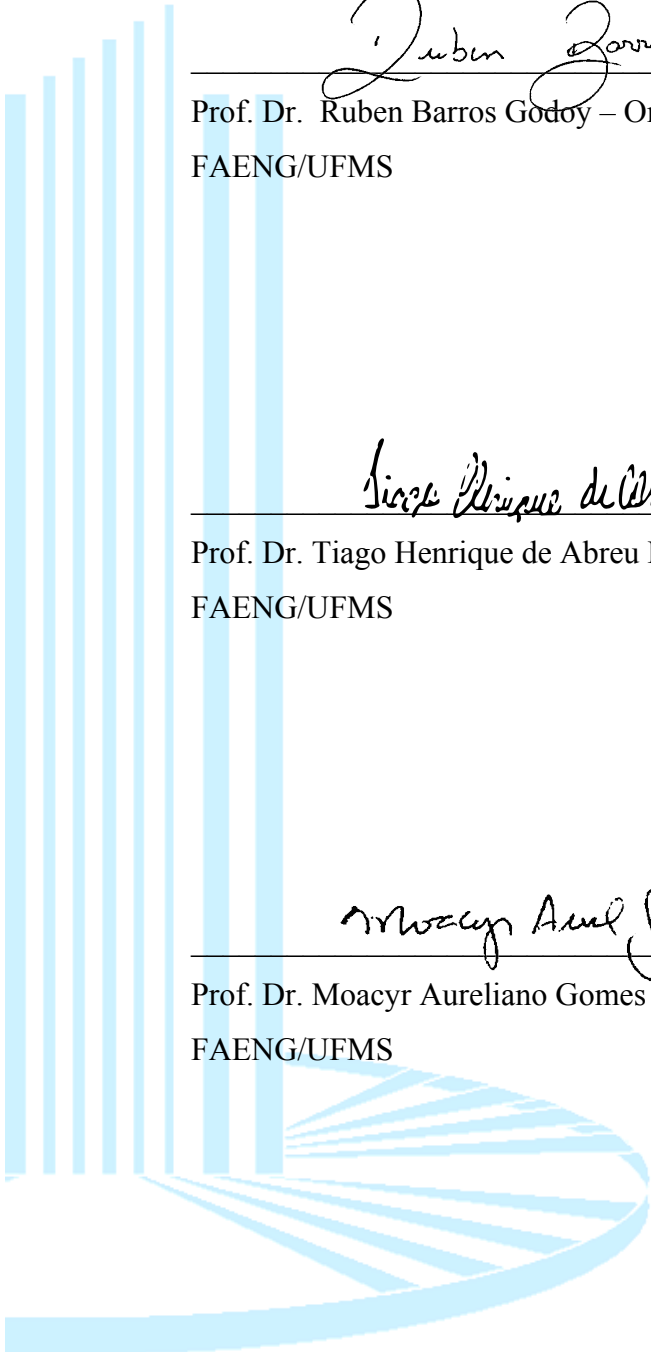
Campo Grande, MS.

Março de 2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

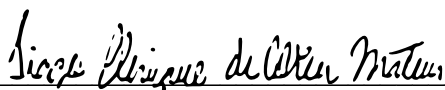
Redação final do Trabalho de Conclusão Curso defendida por Andriele Harumi Hasegawa, com o título: “SISTEMA ESPECIALISTA PARA O LEVANTAMENTO DE CONSUMO RESIDENCIAL”, apresentada para a Comissão Julgadora, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

A Banca Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, submeteu o candidato à análise da Monografia em nível de Graduação.



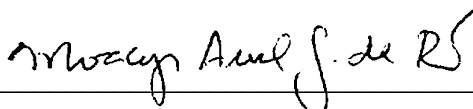
Prof. Dr. Ruben Barros Godoy – Orientador

FAENG/UFMS



Prof. Dr. Tiago Henrique de Abreu Mateus

FAENG/UFMS



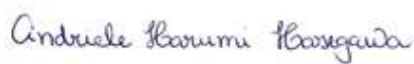
Prof. Dr. Moacyr Aureliano Gomes Britto

FAENG/UFMS

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

Andriele Harumi Hasegawa, residente e domiciliado na cidade de Campo Grande, Estado de Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 42.230.262-4 e CPF nº 442.195.648-10, declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado, com o título “SISTEMA ESPECIALISTA PARA O LEVANTAMENTO DE CONSUMO RESIDENCIAL” é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este texto não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a conclusão do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 02 de março de 2021.



Andriele Harumi Hasegawa

RGA: 2015.2103.030-8

Curso de Engenharia Elétrica – UFMS

*À Deus meu pilar. Aos meus pais que foram
meu suporte. Aos meus amigos que foram
minha força nessa longa caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado, passado à frente me dando forças para que eu não desistisse quando duvidei de mim mesmo.

Aos meus pais, por todo apoio, dedicação e persistência. A minha irmã. Eles que nunca me deixaram faltar nada e foram firmes e fortes quando a distância e saudade apertavam.

Aos meus professores que me ampararam durante a caminhada acadêmica, em especial ao meu orientador Ruben Barros Godoy, que sempre esteve disposto a ajudar e contribuir com conhecimento.

Minha gratidão à Campo Grande, que me acolheu com diversas amizades e companheiros(as) de profissão. Acredito que todos aqueles que passam em nossas vidas, trazem uma ideia ou perspectiva. Eles me tornaram quem sou hoje.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de uma ferramenta computacional intuitiva que estima a contribuição dos equipamentos de uso final para determinar o consumo de uma residência. Para isso, foram analisados tipos de modelagens previstas na literatura e desenvolvido um sistema simples, funcional e ágil. O modelo considerou características comportamentais das famílias, categorias dos equipamentos, parâmetros e coeficientes de ajustes para que os valores se aproximassem do real. A planilha desenvolvida segue as etapas mencionadas, sendo ajustado o padrão de comportamento através de um analisador de energia instalado em duas residências que traçaram o perfil das potências ativas. Para a validação dos resultados foi realizada comparação dos valores calculados através do modelo e dos valores de média e máxima apresentados no histórico de consumo da concessionária, isso comprovou sua funcionalidade. Portanto, pode-se concluir que a ferramenta é eficiente para amparar o conceito teórico e sua simplicidade a torna interessante para aplicações em demais residências.

Palavras-chave: Consumo de energia elétrica, eletrodomésticos, modelagem.

ABSTRACT

This work aimed to develop an intuitive computational tool that estimates the contribution of end-use equipment to determine the household consumption. In order to achieve this goal, types of modeling provided by the literature were analyzed and a simple, functional and agile system was developed. The model considered behavioral characteristics of families, categories of equipment, parameters and adjustment coefficients so that the values approached the real. The spreadsheet developed follows the mentioned steps, with the behavior pattern being adjusted through an energy analyzer installed in two residences that traced the profile of the active power. In order to validate the results, a comparison was made between the values calculated using the model and the average and maximum values presented in the concessionaire's consumption history, which proved its functionality. Therefore, it can be concluded that the tool is efficient to support the theoretical concept and its simplicity makes it interesting for applications in other residence.

Keywords: Electrical energy consumption, home appliances, modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento do consumo de energia elétrica por setor em relação ao crescimento do PIB no período de 1977 a 2009	24
Figura 2 - Consumo Final de energia no setor de edificações.....	25
Figura 3 - Percentual de famílias com acesso a bens de consumo elétrico em 2014	26
Figura 4 - Consumo de energia elétrica por equipamento residencial	26
Figura 5 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial	27
Figura 6 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região Centro-Oeste	27
Figura 7 - Carga diária média no Brasil	28
Figura 8 - Carga diária média na região Centro-Oeste.....	28
Figura 9 - Esquema básico de definições e interações em relação ao consumo de energia residencial.....	29
Figura 10 - Pico médio de energia na semana e no mês.....	32
Figura 11 - Curvas de carga representativas.....	32
Figura 12 - Consumo típico por tempo de ocupação no Reino Unido	34
Figura 13 - Padrão de consumo de energia elétrica no inverno e verão de Hong Kong	35
Figura 14 - (a) Consumo anual de eletricidade de acordo com o ajuste sazonal; (b) Curva média de consumo por hora dias de semana e fim de semana.	35
Figura 15 - Medidor de energia utilizado	49
Figura 16 - Curva de Potência dos dias 08/10 a 14/10 – Casa A	50
Figura 17 - Curva de Potência – Dia 08/10	50
Figura 18 - Curva de Potência – Dia 09/10	51
Figura 19 - Curva de Potência – Dia 10/10	51
Figura 20 - Curva de Potência – Dia 11/10	52
Figura 21 - Curva de Potência – Dia 12/10	52
Figura 22 - Curva de Potência – Dia 13/10	53
Figura 23 - Curva de Potência – Dia 14/10	53
Figura 24 - Curva de Potência do dia 22/10 até 28/10 – Casa B.....	55
Figura 25 - Curva de Potência - Dia 22/10.....	56
Figura 26 - Curva de Potência - Dia 23/10.....	57
Figura 27 - Curva de Potência - Dia 24/10.....	57
Figura 28 - Curva de Potência - Dia 25/10.....	58

Figura 29 - Curva de Potência - Dia 26/10.....	58
Figura 30 - Curva de Potência - Dia 27/10.....	59
Figura 31 - Curva de Potência - Dia 28/10.....	59
Figura 32 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 1	64
Figura 33 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 2	66
Figura 34- Histórico do consumo da conta de energia – Casa 3	67
Figura 35 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 4	69
Figura 36 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 5.....	71
Figura 37 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 6.....	72
Figura 38 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 7.....	73
Figura 39 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 8.....	75
Figura 40 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 9.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potência média adotada para os equipamentos	40
Tabela 2 - Relação de cargas e comportamento da residência A	47
Tabela 3 - Relação de cargas e comportamento da residência B.....	47
Tabela 4 - Média do consumo por dia aferido na casa A	55
Tabela 5 - Média do consumo por dia aferido na casa B	60
Tabela 6 - Relação de cargas e comportamento da residência 1	64
Tabela 7 - Relação de cargas e comportamento da residência 2	65
Tabela 8 - Relação de cargas e comportamento da residência 3	66
Tabela 9 - Relação de cargas e comportamento da residência 4	68
Tabela 10 - Relação de cargas e comportamento da residência 5	70
Tabela 11 - Relação de cargas e comportamento da residência 6	71
Tabela 12 - Relação de cargas e comportamento da residência 7	73
Tabela 13 - Relação de cargas e comportamento da residência 8	74
Tabela 14 - Relação de cargas e comportamento da residência 9	75
Tabela 15 - Análise de resultados para teste de hipótese	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
MEC	Ministério da Educação
MS	Mato Grosso de Sul
NDU	Norma de Distribuição Unificada
PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RLC	<i>Representative Load Curves</i>
UFMS	Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. MOTIVAÇÃO	21
1.2. OBJETIVOS	22
1.2.1. Geral	22
1.2.2. Específicos	22
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO	22
2. DESENVOLVIMENTO.....	24
2.1 MÉTODOS DE PREVISÃO DE CONSUMO DE ENERGIA.....	29
2.1.1. Modelagem	30
2.1.2. <i>Top-down</i>	31
2.1.3. <i>Bottom-up</i>	33
3. METODOLOGIA.....	37
3.1. MODELO PROPOSTO	37
3.1.1. Iluminação	41
3.1.2. Aquecedores de Água	42
3.1.3. Climatização	43
3.1.4. Refrigeração.....	44
3.1.5. Eletrodomésticos Diversos	45
3.2. ESTUDO DE CASO.....	46
3.2.1. Primeira casa analisada.....	46
3.2.2. Segunda casa analisada.....	47
3.3. APARELHO MEDIDOR DE ENERGIA.....	48
3.4. CURVA DA POTÊNCIA ATIVA	50
3.4.1. Primeira casa analisada.....	50
3.4.2. Segunda casa analisada.....	55
3.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	61

4. RESULTADOS	62
4.1. VALIDAÇÃO DO MODELO	63
4.1.1. Consumo de até 200 kWh: Casa 1	63
4.1.2. Consumo de até 200 kWh: Casa 2	65
4.1.3. Consumo de até 200 kWh: Casa 3	66
4.1.4. Consumo de até 200 kWh: Casa 4	68
4.1.5. Consumo de 201 até 300kWh: Casa 5	70
4.1.6. Consumo de 201 até 300kWh: Casa 6	71
4.1.7. Consumo acima 300kWh: Casa 7	72
4.1.8. Consumo acima 300kWh: Casa 8	74
4.1.9. Consumo acima 300kWh: Casa 9	75
4.2. TESTE DE HIPÓTESE	77
4.3. CONCLUSÃO DOS RESULTADOS	78
5. CONCLUSÕES GERAIS	79
6. REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

A relação entre o homem e a energia é antiga, e tanto o homem moderno como o primitivo, sempre foram dependentes dela. O primitivo era dependente da energia proveniente de fontes renováveis e daquelas oriundas da natureza como ventos, água, chuvas entre outras, e as utilizava praticamente para sua sobrevivência. O homem moderno utiliza-se também de fontes não-renováveis, em grande parte das situações, para satisfazer suas necessidades de conforto (FERNANDES, 2001).

Atualmente, o desenvolvimento de qualquer nação está associado à produção de energia elétrica. E o mundo se preocupa com o elevado consumo de energia. Portanto, a constante busca por melhorias no sistema elétrico está associada a suprir o consumo de eletricidade da população (MEC, 2007).

O consumo de eletricidade no Brasil vem crescendo a taxas médias que variam entre 4 e 5% ao ano, com expressividade no setor residencial, devido à facilidade de aquisição de bens de consumo e à demanda reprimida nesta área nos últimos dez anos. Dentre os energéticos do setor residencial, a eletricidade apresenta maior crescimento, seguido pelo GLP – Gás liquefeito de Petróleo (ROMÉRO, 2002).

Nesse cenário crescente de demanda de energia elétrica por habitante acarretando num aumento no valor da tarifa de energia é que temas como: eficiência energética, eficácia dos aparelhos e redução de custos ganham destaque quando o assunto é o sistema energético nacional e economia para o consumidor.

Em (MEC, 2007), o Ministério da Educação considera energia tudo aquilo capaz de produzir calor, trabalho mecânico, luz, radiação, etc. Sendo a energia elétrica um tipo especial de energia, por meio da qual podemos obter esses efeitos. Ela é usada para transmitir e transformar a energia primária da fonte produtora que aciona os geradores em outros tipos de energia.

Dentre suas vertentes de atuação temos a distribuição de energia elétrica que corresponde a utilização da mesma nas cidades, indústrias e casas. Ela é a parte final do sistema elétrico. Portanto, este sistema é responsável por suprir as cargas necessárias à rede elétrica.

A norma vigente (NDU-001, Rev. 6.2) da concessionária Energisa, define carga instalada como a soma das potências nominais dos equipamentos elétricos, em kW, instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento. Este mesmo documento ainda conceitua demanda como média das potências elétricas instaladas solicitadas ao sistema elétrico por um intervalo de tempo.

O consumo de energia elétrica é medido em kWh, quilowatt-hora. Ele é calculado através da multiplicação da potência do aparelho pelo tempo de funcionamento em horas. Na “conta de luz” está registrado o kWh gasto, e o valor a ser cobrado depende do preço do kWh e de outras tarifas que são incluídas na conta. (MEC, 2008)

Reiterando estes dois conceitos e amparados pela importância de que a energia elétrica se associa a alta no consumo como um fator de representatividade no desenvolvimento econômico do país. Assim, o cuidado para que haja o controle coordenado no setor energético é fundamental para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico.

Visando a crescente demanda de energia, em 1996 foi criada a ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, que desempenha uma série de atividades para que o setor elétrico se desenvolva com equilíbrio e em benefício da sociedade. Foi atribuída a ela funções de regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e a comercialização de energia elétrica; mediar conflitos entre os agentes do setor elétrico e entre estes e os consumidores; leiloar e definir os direitos das instalações e serviços de energia; homologar tarifas; zelar pela qualidade do serviço e investimentos; estimular a competição entre os operadores e assegurar a universalização dos serviços (ANEEL. Lei 9.427, 1996).

Dentre as ações que buscam minimizar o custo da energia elétrica são realizados estudos e análises para que haja uma melhoria das estruturas físicas e equipamentos voltados para o setor. Nesta busca, a evolução da tecnologia voltada aos eletrodomésticos e utilização de fontes alternativas de energia ganharam uma notoriedade para investimentos.

De acordo com (MARTINS, 1999) entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas, que reduza custos com energia sem alteração da geração. No Brasil, foi instituído pelo Ministério de Minas e Energia Elétrica, em 30 de dezembro de 1985, o PROCEL – Programa de Conservação de Energia Elétrica, para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL, 2020).

O programa a partir de então foi tendo sua abrangência e responsabilidades ampliadas, com interações e repercussões diretas na sociedade como um todo. Passou a não se restringir apenas ao setor elétrico, articulando-se, a partir de então, com todos os segmentos da sociedade direta ou indiretamente ligados à produção e ao uso da energia elétrica (ANEEL/ANP, 1999).

Consolida-se importância desses indicadores para definição do perfil de consumo e do usuário para um melhor desempenho energético. Visto que parte da formação se dá através dos equipamentos e seu consumo de energia até os contratos firmados com as concessionárias.

Consentido com (MORALES, 2007), para conhecer os hábitos de uso da energia são necessárias algumas ferramentas, dentre elas estão gestão de faturas e monitoramento do

consumo. Estes criam um histórico das unidades consumidoras e fundamentam as decisões e estimativas dos responsáveis pela gestão.

A ANEEL em (ANEEL. Res. 083, 2004) conceitua unidade consumidora como um conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor.

Em (PETRUZELLA, 2013) define o medidor de energia elétrica como “O medidor de quilowatts-hora (kWh) serve para medir a quantidade de energia elétrica utilizada em uma casa, edifício ou fábrica. O medidor registra quantos watts de potência são utilizados ao longo de um período de tempo.”

Assim sendo, um funcionário de concessionária de energia vai até a residência em intervalos regulares para ler o medidor do cliente, calcula-se então a quantidade de eletricidade usada e cobra-se o cliente de acordo. De maneira que o resultado final para o consumidor é de difícil análise, pois não se sabe ao certo qual o valor consumido de acordo com aparelho para que haja uma programação de gastos.

Do ponto de vista do consumidor, é notada uma dificuldade da análise do consumo de energia, seja ela na incerteza de qual o consumo em dado momento e quanto será o valor a ser pago na fatura. Para a concessionária, ressalta-se a importância de uma estimativa de uma demanda de potência a ser fornecida afim de reduzir gastos e garantir qualidade no fornecimento.

Os dados que as concessionárias de energia elétrica normalmente têm sobre o consumo de eletricidade doméstico não contêm muitas informações sobre sua natureza. Estes são fruto do consumo agregado de múltiplas famílias sem conhecimento sobre os eventos individuais. A flutuação do consumo de eletricidade em relação a uma residência permanece não revelada, bem como a divisão do consumo entre os diferentes tipos de eletrodomésticos. No entanto, o conhecimento detalhado pode ser produzido com modelos de simulação (PAATERO, 2006).

Na perspectiva da engenharia, há uma gama de tecnologias aplicadas para solucionar o mesmo problema, métodos estatísticos e inteligência artificial sendo estudados, mesmo assim, a solução final não é de fácil entendimento ou se demora em cálculos complexos na realização do estudo. (PRADO, 2018)

Este trabalho torna-se válido como uma ferramenta facilitadora tratando de forma simplificada a previsão de demanda média nas residências. De tal forma que seja capaz de auxiliar no entendimento e interesses do consumidor e da concessionária sendo realizada uma estimativa de consumo com base nos cenários dos aparelhos presentes em uma residência. Além

disso, este estudo se expande em auxiliar na tratativa de laudos periciais, motivador para pesquisas mais avançadas em construções maiores e no entendimento prático ao usuário incentivando redução do consumo de energia elétrica.

1.1. MOTIVAÇÃO

O estudo resulta em desenvolver uma ferramenta de análise de consumo médio de residências, gerando informações que agreguem na relação de valores gastos por aparelho em uma residência. Este levantamento servirá como base para trabalhos futuros nos quais a estimativa do consumo de energia elétrica se dará através do medidor de energia, possibilitando a comparação com valores aferidos pela concessionária local.

O levantamento de informações comportamentais de uma família, hábitos rotineiros e devido tempo de utilização dos aparelhos presentes na casa, possibilitou ao trabalho uma conduta empírica. A instalação de um analisador de energia para a comparação de valores obtidos através do conhecimento técnico validado através de uma ferramenta de análise. Isso torna o sistema de fácil entendimento, eficiente e útil na propagação do conhecimento.

O trabalho consiste em três grandes apelos:

- a) Revisão Bibliográfica: Sobre os principais métodos, conceito físico e fundamentação do experimento.
- b) Levantamento em campo e organização de informações: Dados aferidos através da instalação de um medidor de energia próprio e elaboração de uma planilha para averiguação do comportamento dos principais equipamentos presentes na residência.
- c) Análise de resultados na efetividade do sistema: Validação experimental visando estudos comparativos entre o trabalho acadêmico e a medição realizada pela concessionária.

Resumidamente, motiva-se as pesquisas relacionadas na intenção de simplificação do assunto, principalmente para os próprios consumidores e trazendo referências para a formação do entendimento dos profissionais da área. Além de mensurar os gastos por aparelho presentes no local, em um certo período de tempo, e acompanhamento em tempo real dos valores dispendidos em comparação com a referência da concessionária local.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Geral

Tendo em vista a definição de consumo e o levantamento realizado nos aparelhos presentes nas residências, implementou-se um sistema especialista a fim de simplificar o cálculo do consumo das unidades consumidoras de acordo com as medições aferidas.

O estudo e desenvolvimento do modelo foi realizado em duas residências diferentes escolhidas aleatoriamente e localizadas em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Possibilitando traçar o perfil para diferentes comportamentos em relação ao gasto de energia. A validação foi realizada em demais casas sendo possível avaliar os resultados deste trabalho.

O projeto deve ser capaz de facilitar a compreensão do funcionamento de consumo médio residencial aferindo os dados coletados e comparando-se com o previsto na teoria e na medição da residência pela distribuidora local. Além de incentivar o uso racional de energia, evitando ou postergando investimentos na ampliação do sistema, uma vez que as medidas de economia se mostram eficientes e de menor custo.

1.2.2. Específicos

- Realizar levantamento bibliográfico pertinentes ao trabalho;
- Realizar pesquisa dos aparelhos residenciais que mais influenciam no consumo e seu tempo médio de utilização;
- Implementar o sistema de medição nas residências;
- Elaborar planilha computacional intuitiva para cálculo do consumo médio residencial;
- Facilitar a compreensão do funcionamento dos aparelhos com base em levantamento de histórico e análise de comportamento;
- Realizar cálculos reais com a planilha desenvolvida;
- Avaliar a eficácia da previsão da planilha em sistemas reais.

1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

O trabalho foi dividido em cinco capítulos, descritos resumidamente nos parágrafos seguintes.

Capítulo 1- Introdução: Contextualização do cenário energético, motivação, objetivo geral, objetivos específicos e estrutura do texto.

Capítulo 2- Desenvolvimento: Apresenta a fundamentação teórica e conteúdo necessário para compreensão do que é o consumo residencial e aborda brevemente algumas modelagens já existentes para a sua previsão.

Capítulo 3- Metodologia: apresenta se a metodologia de cálculos para as equações do modelo através do estudo de caso em duas residências tendo como comparativa um analisador de energia.

Capítulo 4- Resultados: neste capítulo são apresentadas as validações da ferramenta em comparação a fatura de energia e realizado o teste de hipótese.

Capítulo 5- Conclusões: evidenciaram o cumprimento do objetivo proposto de desenvolver a ferramenta e sua aplicabilidade.

2. DESENVOLVIMENTO

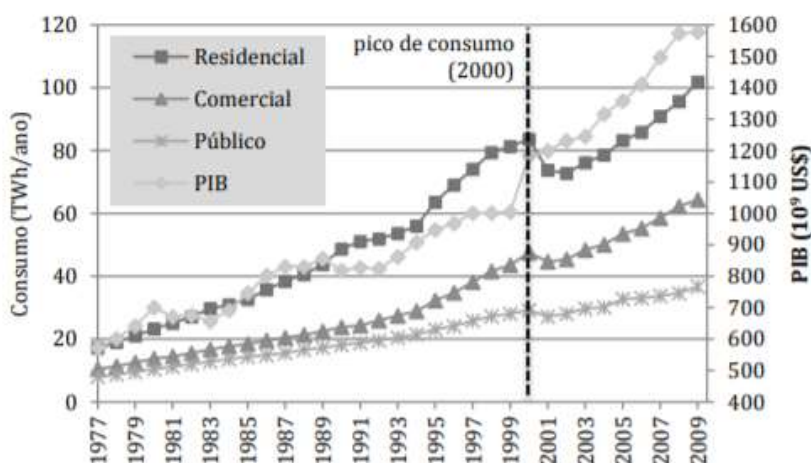
A relação entre o desenvolvimento de um país e o crescimento do consumo de energia elétrica estão diretamente vinculados. Medidas adotadas dentro do cenário elétrico incluem diretamente os atuais objetivos políticos, sejam eles na segurança energética, redução de consumo e a acessibilidade. A globalização e o mercado econômico necessitam de respostas dinâmicas nas questões que englobam eficiência energética.

O planejamento integrado entre uma visão do consumidor como parte ativa do sistema e da expectativa de crescimento do setor energético resulta numa logística de análise para projeções de consumo. Neste contexto, modelos de demanda e alterações na sua curva de carga se tornam fatores importantes a serem considerados.

Em (ACHAO, 2009) a análise realizada indica que o consumo específico está relacionado à renda e acesso ao crédito. Em períodos no qual a economia do país se encontra forte e estável, há um aumento de renda e fácil acesso aos créditos, cria-se um cenário para aquisição de novos equipamentos e maior uso de energia nos domicílios. Em contrapartida, em épocas recessivas com elevadas taxas de inflação, há um aumento da tarifa de energia elétrica, no qual o uso da mesma não é favorecido.

A Figura 1 retrata a compatibilidade entre o crescimento do PIB, Produto Interno Bruto, com o consumo de energia nos setores dentre os anos de 1977 e 2009; aponta também, o pico de consumo acontecido no ano 2000, fato que contribuiu para a crise nacional do apagão e necessidade de racionamento energético no país.

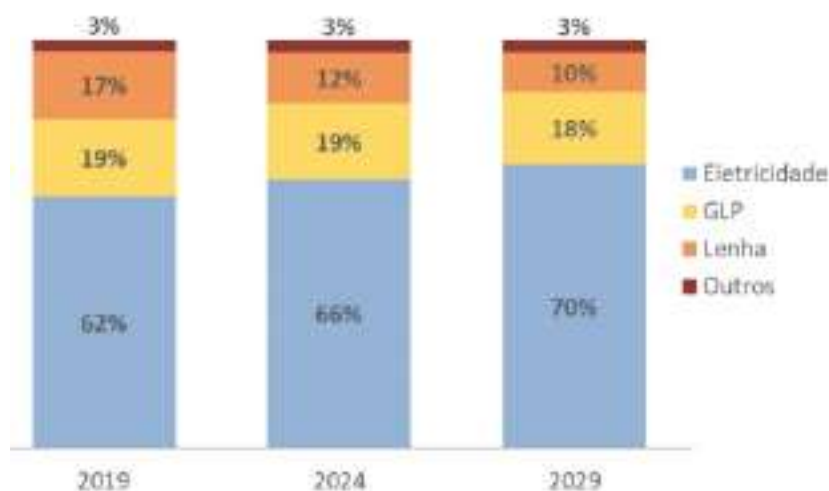
Figura 1 - Crescimento do consumo de energia elétrica por setor em relação ao crescimento do PIB no período de 1977 a 2009



Fonte: (MORISHITA, 2011)

Acompanhando a tendência de crescimento para os próximos anos, a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), prevê através do Plano Decenal de Expansão de Energia, um aumento no setor de edificações, que contempla edifícios, residências, empreendimentos comerciais e públicos. Espera-se que em 2029 o consumo final de eletricidade no setor alcance 406 TWh, correspondente a cerca de 70% da matriz energética das edificações e 51% do consumo final de eletricidade, como mostra a Figura 2 (EPE, 2015b).

Figura 2 - Consumo Final de energia no setor de edificações



Fonte: (EPE, 2015b)

A estimativa da eletricidade consumida no país se molda com base nas edificações ligadas à rede, que por sua vez é projetado para atender o uso final do cliente através de posses de equipamentos, eletrodomésticos e hábitos de uso. Em (ARGHIRA et al., 2012), reitera-se que a tendência hoje em dia é de se obter a previsão de consumo de energia não apenas no nível da residência, mas no nível de eletrodomésticos.

De acordo com dados do IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, equipamentos considerados primordiais para as famílias apresentam alta taxa de participação nos lares brasileiros independente da faixa de renda. No entanto, os não essenciais, como freezer e máquina de lavar roupa, podem apresentar consideráveis diferenças na presença das residências. A Figura 3, elaborada por (BEZERRA, 2017), retrata os percentuais da presença dos equipamentos de acordo com o rendimento domiciliar.

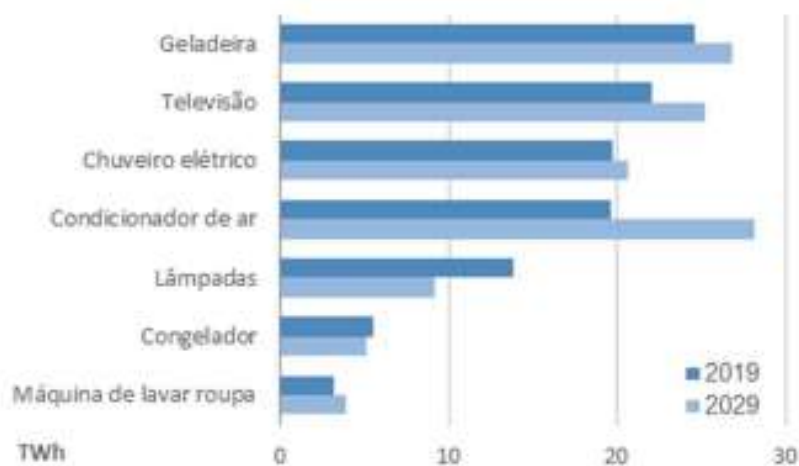
Figura 3 - Percentual de famílias com acesso a bens de consumo elétrico em 2014

Equipamento	Total	Classes de rendimento mensal domiciliar (salário mínimo)								
		Até 1	Entre 1 e 2	Entre 2 e 3	Entre 3 e 5	Entre 5 e 10	Entre 10 e 20	Mais de 20	Sem rendimento	Sem declaração
Fogão	98,8%	95,8%	98,6%	99,1%	99,6%	99,8%	99,8%	99,9%	94,9%	99,1%
Televisão	97,1%	91,5%	96,2%	97,8%	98,7%	99,1%	99,5%	99,8%	91,4%	98,0%
Geladeira	97,6%	91,1%	96,7%	98,4%	99,4%	99,7%	99,9%	99,9%	91,6%	97,9%
Freezer	16,5%	6,8%	10,4%	14,0%	18,0%	24,2%	31,9%	41,2%	7,6%	21,8%
Máquina de Lavar roupa	58,7%	24,1%	38,3%	54,2%	70,5%	85,1%	92,4%	96,4%	43,5%	75,0%

Fonte: (BEZERRA, 2017)

Considerando ainda a perspectiva de crescimento apresentada em (EPE, 2015b), a Figura 4 apresenta uma projeção de consumo por equipamento para os próximos dez anos, apontando um crescimento relevante nos aparelhos base e secundários.

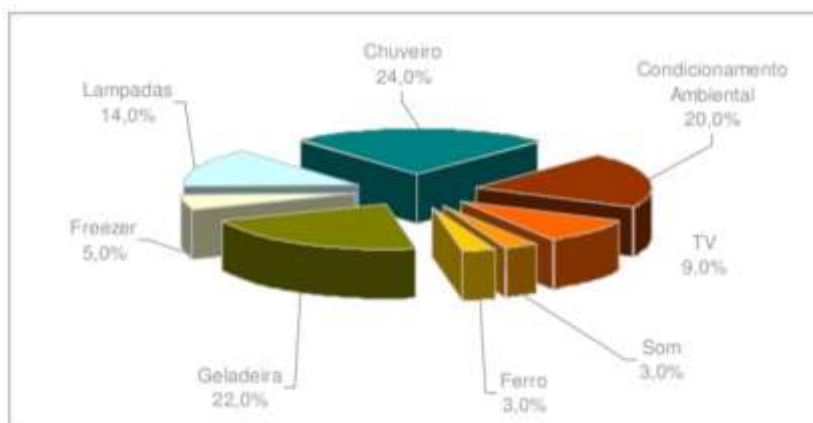
Figura 4 - Consumo de energia elétrica por equipamento residencial



Fonte: (EPE, 2015b)

Além disso, o PROCEL em estudo dirigido em 2005, realizou o levantamento da contribuição das cargas dos equipamentos em uma residência. A Figura 5 traz em porcentagens a relevância dos principais eletrodomésticos no consumo final da carga no Brasil (PROCEL; ELETROBRAS, 2007).

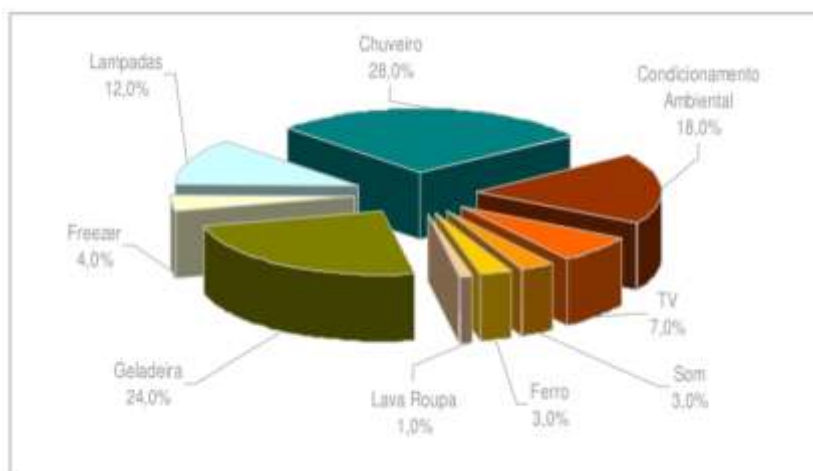
Figura 5 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial



Fonte: (PROCEL; ELETROBRAS, 2007)

O mesmo estudo ainda separa a disposição de acordo com as regiões do território nacional. Destacou-se o Centro-Oeste, na Figura 6 como referência, uma vez que o levantamento foi realizado em Campo Grande - Mato Grosso do Sul.

Figura 6 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial na região Centro-Oeste



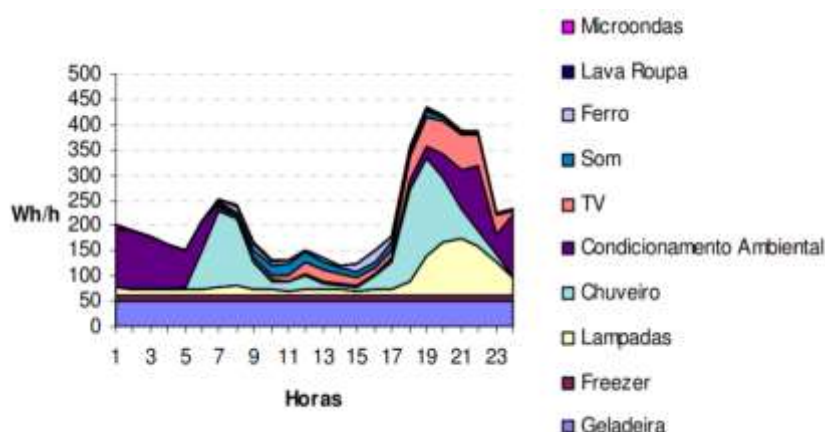
Fonte: (PROCEL; ELETROBRAS, 2007)

Nele são mostradas as porcentagens significativas das contribuições dos eletrodomésticos para o consumo residencial, no qual os principais contribuintes são chuveiros (aparelho aquecedor de água), geladeira (uso contínuo) e condicionamento ambiental (resfriadores ou ar condicionado).

O chuveiro é responsável por cerca de 28% do consumo na região, seguido pela geladeira com 24% e os resfriadores/aquecedores de ar que representam 18%. Esse cenário é válido pois estes aparelhos normalmente apresentam uma grande potência, o que influencia diretamente no consumo das residências.

No Brasil, outro fator importante para mapear o consumo final é o comportamento sazonal. Em geral, o padrão de utilização dos aparelhos varia de acordo com a temperatura média, incidência de luz e características locais dependendo de cada região. Isso traça o perfil de cargas ao longo do ano, bem como impacta no comportamento diário típico dentro de uma residência, que pode sofrer uma grande variação dentre as horas do dia, como representado na Figura 7.

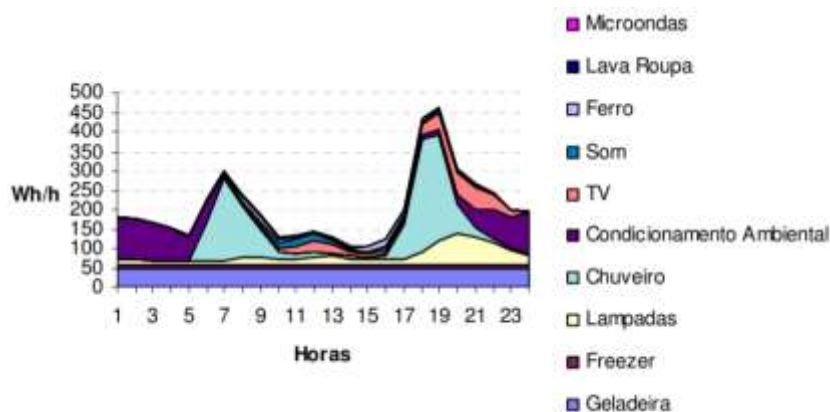
Figura 7 - Carga diária média no Brasil



Fonte: (PROCEL; ELETROBRAS, 2007)

Numa visão mais canalizada, temos o perfil de carga da região Centro-Oeste apontado na Figura 8. Esta aponta de forma simplificada pequenas diferenças na utilização dos equipamentos se compararmos com a utilização média brasileira, contudo, os horários de pico registrados apresentam um comportamento semelhante em todas as regiões do país.

Figura 8 - Carga diária média na região Centro-Oeste



Fonte: (PROCEL; ELETROBRAS, 2007)

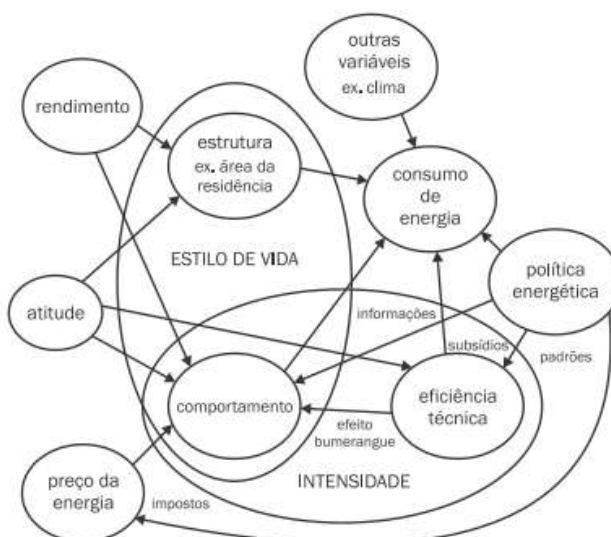
Como dito anteriormente, o setor residencial é caracterizado por um tipo de consumo heterogêneo e que apresenta inúmeras barreiras para uma previsão modelagem. Ele não pode ser apenas caracterizado pela renda ou contribuição dos eletrodomésticos na carga, devem ser levadas em consideração inúmeras variáveis socioeconômicas e climáticas bem como variáveis comportamentais e histórico de dados, o que torna de alta complexidade a sua análise.

2.1 MÉTODOS DE PREVISÃO DE CONSUMO DE ENERGIA

Na tentativa de prever ou gerir o consumo dentro de uma residência foram sendo utilizados vários seguimentos de ferramentas como forma ou métodos de melhorar os processos buscando sempre se aproximar da realidade. Estudar o comportamento energético passou a ser decisivo para fundamentar as decisões que envolvem o histórico de consumo e os fatores que modelam o uso de energia elétrica.

Caracterizar o comportamento de uma residência envolve variáveis de macroeconomia, de aspectos físicos amplamente analisados e modelados, além de estudos comportamentais ainda mais difíceis de se prever. Na Figura 9, retrata-se um esquema básico das interações e variáveis que devem ser levadas em considerações ao retratarmos alguns dos fatores que influenciam no consumo de energia elétrica.

Figura 9 - Esquema básico de definições e interações em relação ao consumo de energia residencial



Fonte: (MORISHITA, 2011)

A interpretação adequada destes dados permite que possam ser realizados estudos que estimem o potencial de crescimento da demanda esperada de energia elétrica e assim, planejar o atendimento segundo a projeção. Dentre os trabalhos que seguem esta abordagem, métodos de previsão de consumo, em sua maioria utilizam modelagens mais complexas como: estudos estatísticos, engenharia e inteligência artificial. Estes seguem com vantagens e desvantagens a partir do enfoque desejado.

2.1.1. Modelagem

Os modelos de consumo de energia no setor residencial são divididos em *top-down* e *bottom-up*, diferenciados pela hierarquia de caracterização do setor. O primeiro tem como base a energia consumida no setor como um todo, consumo final. Por outro lado, o modelo *bottom-up* utiliza o consumo individualizado por uso final ou unidade residencial, expondo os resultados detalhados para uma região ou país. (BEZERRA, 2017).

A modelagem *top-down* assume os consumidores como um grupo homogêneo geral não considerando as tecnologias utilizadas e o comportamento individual. Estes modelos são adequados para uma avaliação intersetorial do consumo apropriados para análises de políticas macroeconômicas, que apresenta uma perspectiva do consumo mais abrangente.

Os dados de entrada levam em consideração variáveis climáticas, econômicas e demográficas, informações amplas e com facilidade de acesso tornando-o simples. Para SWAN e UGURSAL (2009), modelos *top-down* fornecem boa capacidade de previsão para pequenos desvios, considerando que o setor residencial raramente sofre mudanças bruscas de paradigma. Com isso eles determinam o efeito sobre o consumo de energia devido a mudanças ou transições de longo prazo no setor residencial e operam em uma estrutura de equilíbrio que balanceia o consumo histórico de energia com variáveis que explicam o seu comportamento.

Essa abordagem, porém, apresenta como desvantagem a incapacidade de modelar e prever imprevistos com descontinuidade de comportamento. Isso prejudica o estudo em áreas-chaves que visam melhorias para a redução do consumo, pois não traçam avanços de tecnologia e falta detalhar o consumo de energia para usos finais individuais.

A modelagem *bottom-up* foi desenvolvida para traçar melhorias na política energética ou tecnologias de um país. Ela aborda a energia demandada que incluem características específicas da residência e dos equipamentos existentes nela, tornando-a uma metodologia desagregada e detalhada de consumo. Para (MURATORI et al., 2013), o uso de informações detalhadas, em particular hábitos de consumo individual de classes de residência, são a grande

vantagem e ao mesmo tempo a limitação do modelo, pois precisam de um maior número de dados de entrada e diversidades de informações requisitando um grande esforço computacional.

Cenários de demanda são baseados em dados quantitativos e qualitativos que identificam alternativas para as tecnologias utilizadas para cada tipo de uso e avaliam seu desempenho e custos. É essencial que se defina um cenário base ou de referência como um padrão para a análise, afim de comparar as opções fornecidas e identificar melhorias em relação ao padrão adotado. Além disso, uma perspectiva *bottom-up* pode revelar a saturação da demanda de algum produto energo-intensivo ou mudanças no padrão de comportamento. Tais mudanças influenciam a composição e a quantidade de serviço energético pertencente a certo nível de atividade econômica ou uso final (BEZERRA, 2017).

O desenvolvimento de modelos que incorporam a curva de cargas como forma de caracterizar o perfil de demanda residencial se tornam cada vez mais comuns e necessários. Através deles obtém-se uma compreensão do comportamento temporal do consumo, bem como os cenários que propiciam uma visão detalhada de medidas que podem ser tomadas no planejamento do setor de energia elétrica.

Os modelos podem ser adquiridos a partir de dados agregados de um histórico de consumo ou ainda serem construídos a partir de dados de carga de uso finais. Levantar uma curva residencial por um processo de síntese é uma tarefa complexa, uma vez que fatores psicológicos e variáveis subjetivas comportamentais são os maiores influenciadores (BEZERRA, 2017).

2.1.2. Top-down

Modelos de estrutura *top-down* partem de uma estimativa qualitativa para prever a curva de cargas. Os dados de entrada sugeridos são inseridos de forma agrupada, no entanto, não descrevem a composição de demanda a nível de uso final, de equipamentos. O estudo desenvolvido por (OLIVEIRA et al., 2014) retrata o consumo total ao longo do dia no período de 2009 até 2014 e registra o comportamento do pico médio de energia ao longo da semana e do mês no país, caracterizando o comportamento sazonal da carga, apresentado na Figura 10.

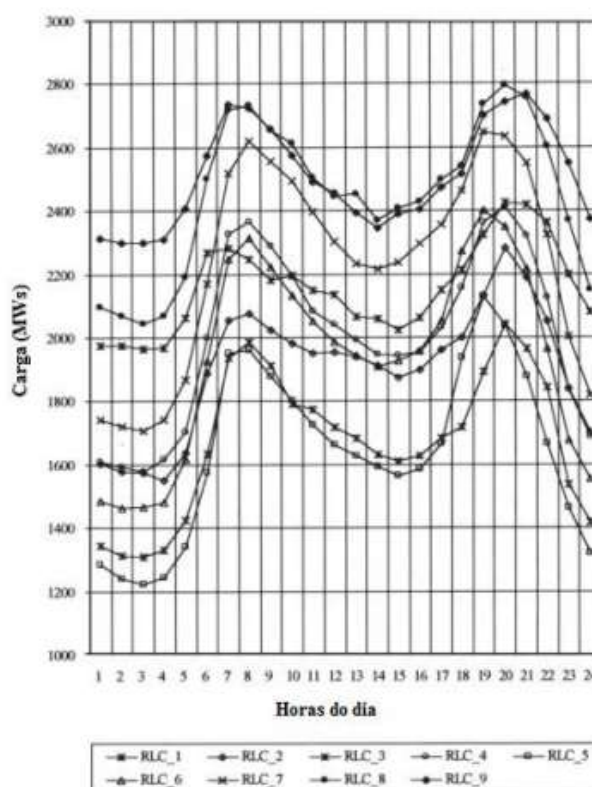
Figura 10 - Pico médio de energia na semana e no mês



Fonte: (OLIVEIRA et al., 2014)

Em (BALACHANDRA; CHANDRU, 1999) as curvas representativas (RLC – *Representative Load Curves*) representam padrões similares do perfil de carga diário. O autor retrata algumas categorias de consumidores e uso finais que se destacam no perfil de demanda por hora, apontando significativas diferenças nos nove grupos de carga, retratando maior e menor demanda ao longo de um dia.

Figura 11 - Curvas de carga representativas



Fonte: (BALACHANDRA; CHANDRU, 1999)

A utilização de redes neurais artificiais e lógicas são outros tipos de abordagem *top-down*. O modelo desenvolvido por (OLIVEIRA et al., 2014) sintetiza informações como: tipo de consumidor, localização, estação do ano, dia da semana, consumo mensal de energia. Essas informações podem ser obtidas a partir de curvas típicas traçadas por companhias do setor energético que, quando aplicadas redes neurais e lógica Fuzzy, originam curvas de padrão de consumo para diferentes classes.

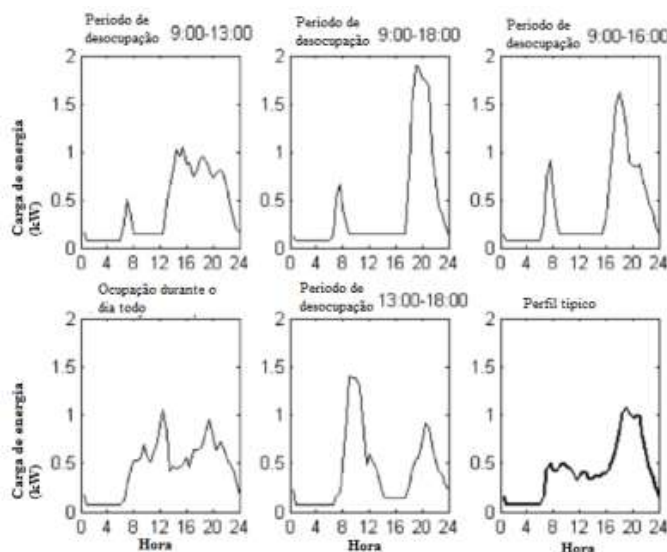
2.1.3. Bottom-up

Esta abordagem visa entender o comportamento do consumo para que seja possível identificar impactos de uma carga na operação do sistema. Sendo desenvolvidos cálculos que traçam o perfil diário na residência com o número de ocupantes, posses de equipamentos e hábitos rotineiros dos moradores. Assim, com diversas amostragens consideraram o total do consumo de energia definido como a soma de várias modelagens de acordo com o seu enquadramento nos diferentes eletrodomésticos (BEZERRA, 2017).

O modelo matemático desenvolvido por YAO e STEEMERS (2005), estima o consumo energético do Reino Unido a partir de pesquisas e entrevistas com os moradores, assim identificam os dados demográficos dos domicílios, a posse dos equipamentos e o consumo médio de cada um dos equipamentos. Para eles, as variáveis de influência podem ser determinantes comportamentais ou físicas. No primeiro caso de determinantes comportamentais, os hábitos das pessoas, frequência de uso, estão diretamente relacionados à estação climática, sugeridas em (MANSOURI et al, 1996). Em contrapartida, os determinantes físicos estão relacionados ao tipo de residência em que consideram a área da construção, nível de renda familiar.

As variáveis consideradas para modelar o padrão de consumo de energia elétrica foram: número de pessoas na residência, tempo de ocupação da casa e consumo individual dos equipamentos residenciais.

Figura 12 - Consumo típico por tempo de ocupação no Reino Unido



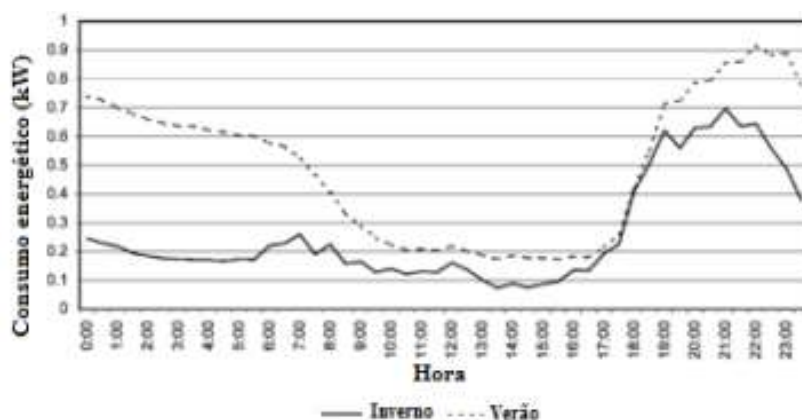
Fonte: (YAO; STEEMERS, 2005)

A Figura 12 retrata o perfil específico de consumo diário para a carga do aparelho em cada um dos cenários de tempo de ocupação estabelecidos. O perfil de carga foi modelado através de um gerador de número aleatório, de acordo com cada equipamento e seu consumo médio diário, assim o consumo típico de um equipamento pode ser gerado refletindo na média local.

Em análise feita em Hong Kong por TSO e YAU (2003) apresentado na Figura 13 - Padrão de consumo de energia elétrica no inverno e verão de Hong Kong, além de avaliar informações como tipo de residência, questões comportamentais e posses de aparelhos, a pesquisa levou em consideração a sazonalidade da carga, sendo feita no verão e no inverno. Um diário de consumo relacionado aos principais usos energéticos identificados: climatização, aquecimento de água, iluminação, cocção e lavagem e secagem de roupa foi criado com medições a cada 30 minutos nos equipamentos ao longo de uma semana, em cada uma das estações escolhidas.

Identificou-se que durante o verão, os fatores críticos para determinação do perfil de consumo de uma residência são o tipo da casa, suas características e a posse de equipamentos. Já durante o inverno, o comportamento do consumo está muito mais relacionado ao número de residentes de um domicílio. Além disso, verificou-se que no verão, a posse de aparelhos de ar condicionado, secadores de roupas, exaustores e ventiladores está relacionado a um aumento do consumo. Já no inverno, os aparelhos que influenciaram o aumento de consumo foram aquecedores de água elétricos e exaustores. (BEZERRA, 2017)

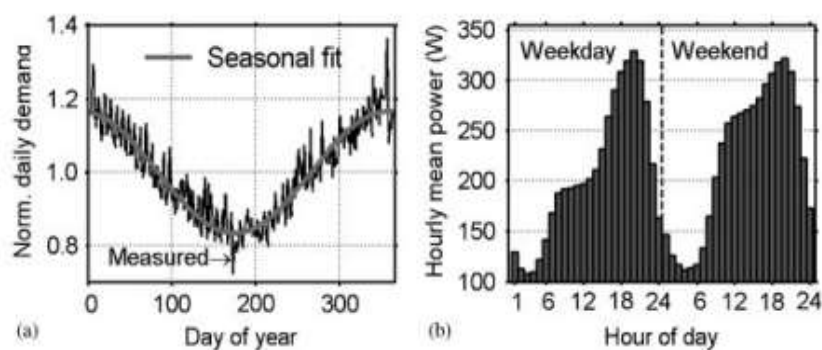
Figura 13 - Padrão de consumo de energia elétrica no inverno e verão de Hong Kong



Fonte: (TSO; YAU, 2003)

Na tentativa de facilitar o entendimento do consumo de eletricidade, PAATERO (2006), define seu trabalho como “A perda de precisão é compensada pela redução do volume de dados requeridos”. Ele sugere um trabalho com base em amostras e médias estatísticas, no qual não há necessidade de detalhamento nos dados de entrada.

Figura 14 - (a) Consumo anual de eletricidade de acordo com o ajuste sazonal; (b) Curva média de consumo por hora dias de semana e fim de semana.



Fonte: (PAATERO 2006)

Parte do seu trabalho representado pela Figura 14, define curvas características de carga que apresentam um dado detalhado e realista, mas que foram alcançados usando informações gerais sobre os equipamentos existentes e estatísticas sobre os consumidores.

Não só aspectos técnicos podem ser otimizados e planejados pela observação da curva de carga, a análise da curva de carga auxilia em decisões de investimentos futuros, tarifas,

cálculos de perdas, entre outros, o que propicia uma alocação ótima dos recursos no planejamento de operação e expansão do sistema. (QUEIROZ, 2011)

Sendo assim, a metodologia a seguir tem como propósito caracterizar as unidades consumidoras e traçar o perfil de demanda de carga a partir do levantamento de características básicas das residências. Através do conhecimento prévio dos principais indicadores energéticos desenvolver uma ferramenta que caracterizando os principais aparelhos para a economia e possibilitando uma gestão de gastos afim de se evitar desperdício e possibilitar uma economia de energia.

3. METODOLOGIA

O método pretende, de forma simplificada, fazer um levantamento em escala macro da variação de demanda ao longo do mês, de forma a estimar o perfil médio do consumo de energia elétrica residencial individualizada voltada para os equipamentos nela presentes. Assim, foi proposta como base a metodologia *bottom-up*, uma vez que analisamos a demanda de energia de forma desagregada das interrelações entre o sistema energético e o sistema socioeconômico envolvente e detalhada para os diferentes usos finais.

O consumo medido é distribuído de acordo com um consumo diário, partindo do pressuposto que todos os dias têm um comportamento igual. No entanto, são encontradas algumas distorções e variações devido ao dia da semana, fim de semana e feriados. Na premissa de simplificar o trabalho assume-se um comportamento padrão diário independente do dia, ou estação do ano.

O modelo também não considerou renda social, apenas categorizando o tipo de construção em 3 grupos (pequeno, médio e grande), evitando assim maior complexidade de dados. Os parâmetros e coeficientes de ajustes estão relacionados a hábitos comportamentais das famílias e dados disponíveis na literatura. Estes foram selecionados com base na confiabilidade da leitura para ajustar o modelo aos dados de referência como a potência média dos aparelho, média do tempo de uso, e informações coletadas dos moradores, como quantidade de equipamentos e frequência de uso.

São utilizadas variáveis como número de pessoas residentes no domicílio, posse de equipamentos, tempo e frequência de uso sendo possível estimar a demanda energética e aferi-los com dados já analisados em outros estudos aqui referenciados. Além de comparar com a curva obtida mediante a instalação do aparelho de medição de energia em cada uma das residências.

Com isso, a proposta é entender o quanto cada um dos usos finais de eletricidade contribui para o total demandado e traçar o consumo esperado por uma residência de acordo com o perfil levantado para cada estudo de caso das residências analisadas.

3.1. MODELO PROPOSTO

Para cada caso, foi relacionada a lista de cargas presente na residência, estas foram submetidas às variáveis para a construção do modelo. Sendo assim, para cada uso final fez-se possível uma estimativa do consumo médio na residência durante o mês. As variáveis são descritas a seguir:

- Parâmetros: são aquelas variáveis que podem ser ajustáveis no tempo e dependem apenas das premissas que serão utilizadas para serem definidas. Os parâmetros podem ter variação ao longo do tempo de análise do modelo e dos cenários escolhidos (BEZERRA, 2017).
- Coeficientes: são as variáveis que foram obtidas através de relações fixas ou empíricas utilizadas, como relações calculadas para ajustar o modelo ou para estimar o consumo energético com base em alguma equação (BEZERRA, 2017).

No modelo apresentamos dois tipos de parâmetros: parâmetros variáveis e parâmetros constantes. Também, no modelo, temos dois coeficientes de ajustes: coeficiente de ciclo e coeficiente de utilização.

Os parâmetros variáveis são definidos conforme os cenários adotados, ou seja, sofrem alterações de acordo com o levantamento realizado pelo modelo. Em geral, estes são frequência de uso, quantidade de equipamentos, número de moradores e porte da casa. Considerou-se como constantes a temperatura ambiente, potência do equipamento (padronizando como o mesmo valor médio para todo modelo e marcas) e o tempo médio de utilização em horas.

Os coeficientes de ajustes são imprescindíveis para a caracterização da proposta do modelo. Eles foram obtidos de acordo com prévias da literatura dos equipamentos e calculados levando em consideração o porte da casa e os hábitos dos moradores. A combinação desses dois fatores permitiu que o modelo ficasse mais próximo da realidade do comportamento do consumo esperado na residência.

Assim, os cálculos para definição do modelo partiram de variáveis a serem inseridas: número de moradores, porte da casa, listagem de equipamentos e frequência de uso e são atribuídos os parâmetros e coeficientes, para estimar o consumo final de uma residência dentro de um mês. Foram relacionados abaixo os principais contribuintes para definição e cálculo do modelo proposto:

- **Quantidade:** Abrange o número de equipamentos presentes na casa daquele tipo, considera principalmente os equipamentos de maior potência e de relevância no consumo.
- **Potência:** Indica a potência média dos aparelhos, foi estabelecida de acordo com a literatura, levantamento de dados e manual dos fabricantes. Esse parâmetro é constante dada em watts (W).
- **Frequência de uso:** Define a relação do número de vezes que o equipamento é utilizado dentro da residência. Esse parâmetro é variável, que pode ser descrito em: Todos os dias, esporádico, vezes no dia ou vezes na semana.
- **Tempo de uso:** Fator multiplicador que se refere ao valor médio de uso, em horas, quando o equipamento é necessário. Foi definido tempo para cada um dos aparelhos, sendo este uma constante.
- **Ciclo/Standby:** Fator multiplicador para equipamentos como ar condicionado e geladeira, máquina de roupas e relacionados no qual o consumo final energético é estabelecido de acordo com um ciclo *on/off*. Podem ser considerados como modo standby televisores, telas entre outros. Estes coeficientes foram ajustados de acordo com o uso final do equipamento e o porte da residência.
- **Utilização:** Variante de acordo com número de habitantes da residência, com porcentagens significativas na relação da iluminação.

Dentre as premissas adotadas para o modelo foram adotadas como constantes as potências médias para cada equipamento encontrado nas residências. O valor admitido para cada eletrodoméstico e aparelho é uma média das potências sugeridas por literaturas e pesquisas já relacionadas neste trabalho. Essa ponderação foi estabelecida devida a diversidade dos equipamentos e melhor aproximação dos valores, uma vez que certas potências se demonstraram desatualizadas.

O tempo de uso também foi estabelecido considerando o tempo médio de utilização diária dos equipamentos quando acessado. O valor admitido para cada eletrodoméstico é uma ponderação definida pelo autor baseado sugestões da literatura, estudos comportamentais e pesquisas relacionadas a este trabalho.

Abaixo na Tabela 1, apresenta-se a relação de equipamentos levantados nas residências e suas respectivas potências e tempo médio de utilização que foram consideradas para o desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho.

Tabela 1 - Potência média adotada para os equipamentos

Equipamento	Potência (W)	Tempo de uso
Ar condicionado 7.000 BTU	700	6 horas
Ar condicionado 9.000 BTU	900	6 horas
Ar condicionado 12.000 BTU	1000	6 horas
Batedeira	150	5 min
Bomba d' água 1CV	1000	1 hora
Cafeteira	300	5 min
Chuveiro	5500	8 min
Churrasqueira elétrica	600	1 hora
Computador CPU	200	8 horas
Espremedor de frutas/liquidificador	200	5 min
Ferro de passar (dia)	1200	5 min
Ferro de passar (semana)	1200	2 horas
Freezer vertical/horizontal	180	24 horas
Fritadeira Elétrica	1200	35 min
Forno Elétrico	1000	40 min
Geladeira	180	24 horas
Impressora	80	5 min
Lâmpada	15	1,5 horas
Máquina de costura	100	1 hora
Máquina de louça	1500	2 horas
Máquina de roupas	800	3 horas
Micro-ondas	1000	5 min
Motor do Portão	400	20 min
Notebook	40	5 horas
Refletor	500	4 horas
Sanducheira	600	5 min
Secador de Cabelo	1000	15 min
Tela 25"	60	4 horas
Televisão 40"	180	6 horas
Televisão 50"	200	6 horas
Umidificador	30	5 horas
Ventilador Mesa	50	5 horas
Ventilador Teto	40	5 horas

Fonte: Autor

O consumo energético médio mensal de uma residência se dará através da estimativa diária levantada na casa através dos hábitos de consumo da família em um determinado mês. O consumo final estimado em Quilowatt-hora (kWh) residencial é dado pela

somatória do consumo de cada equipamento presentes multiplicados pelas variáveis descritas. Portanto, representado pela equação a seguir:

$$\text{Consumo Final}(kWh) = \sum \text{equipamentos} \times \text{variáveis}(t) \quad (1)$$

O equipamento depende do seu uso final, para o modelo foram estimadas cinco categorias como referências, sendo essas as principais contribuidores na demanda dentro de uma casa: (1) Iluminação; (2) Aquecedores de Água; (3) Climatização; (4) Refrigeração; (5) Eletrodomésticos Diversos.

3.1.1. Iluminação

Na iluminação serão consideradas as cargas das lâmpadas da residência, a energia luminosa é a energia útil para iluminar um determinado local. Com o avanço da eficiência energética, a troca de lâmpadas do tipo incandescentes por fluorescentes, hoje a mais comum nas residências brasileiras, trouxe uma diminuição do consumo no setor. A equação para o consumo da iluminação é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Lâmpadas}} (kWh) \\ = \sum \frac{\text{quantidade}(u) \times \text{potência}(W) \times \text{frequência}}{\times \text{tempo de uso}(h) \times \text{utilização}} \end{aligned} \quad (2)$$

No qual:

- **Quantidade:** Representa o número de unidades de lâmpadas na residência, dentre as quais o tipo fluorescente compacta foi predominante.
- **Potência:** A potência por lâmpada foi levantada de acordo pesquisa em campo, sendo que a potência média utilizada foi de 15W.
- **Frequência:** Considerou-se nesse fator uma utilização diária, todos os dias, como fator multiplicador.
- **Tempo de uso:** Representa o tempo médio de utilização de uma lâmpada por dia. Sendo considerado 1,5 horas para cada lâmpada.

- **Utilização:** Coeficiente de ajuste de acordo com o número de pessoas residentes e quantidade de lâmpadas na casa. Sendo considerado 1,7 horas para cada lâmpada.

3.1.2. Aquecedores de Água

Os aquecedores de água são representados pelos chuveiros. Em pesquisa realizada por (PROCEL; ELETROBRAS, 2007) constatou-se que dos sistemas que usavam energia elétrica como fonte de aquecimento, o chuveiro elétrico respondeu pela quase totalidade, com a parcela de 99,6%.

A temperatura de saída da água depende de hábitos comportamentais e da própria capacidade que o sistema de aquecimento utilizado possui. A potência do chuveiro é proporcional a sua resistência, chuveiros com maior capacidade de aquecimento possuem maiores resistências internas e maiores potências. Alguns aparelhos existentes permitem que o usuário mude a posição da chave de resistência do chuveiro elétrico em duas ou mais posições, permitindo que se altere a temperatura da água de saída através de uma mudança no tamanho da resistência interna (PRADO; GONÇALVES, 1998).

Para descrevermos e calcularmos o consumo para o chuveiro desenvolveu-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Chuveiro}} \text{ (kWh)} \\ = \sum \frac{\text{quantidade}(u) \times \text{potência}(W) \times \text{frequência}}{\times \text{tempo de uso}(h)} \end{aligned} \quad (3)$$

No qual:

- **Quantidade:** Representa o número de aparelhos de chuveiros na residência.
- **Potência:** A potência por chuveiro foi levantada de acordo com a média verificada pelos fabricantes, sendo que a potências considerada foi de 5500W.
- **Frequência:** Considerou-se nesse fator o número de banhos diários na casa, esse fator sofreu variação de acordo com o número e hábitos dos moradores.
- **Tempo de uso:** Representa o tempo médio de duração de um banho. Sendo que a média utilizada nesse modelo foi de 8 min.

3.1.3. Climatização

Dentre os aparelhos responsáveis pela climatização do ambiente, destaca-se no âmbito residencial, os sistemas de ar condicionado. O funcionamento do aparelho baseia no ajuste da temperatura e umidade de um ambiente interno e externo através de um ciclo de refrigeração.

A proposta do modelo oferece uma maneira simplificada de aproximar o valor do consumo mensal do aparelho. A utilização deste equipamento depende principalmente dos fatores culturais e temperatura média do ambiente, indicadores que não são o objeto de estudo do modelo proposto, sendo assim estes itens não são utilizados dentre as variantes contribuintes para este cálculo.

Realizou-se um levantamento dos modelos presentes nas residências de acordo com os BTUs e foi obtida a potência em Watts que seria considerada no cálculo. Essa conversão pode sofrer variações de acordo com o fabricante, portanto foi feita uma média para utilizar o mesmo valor conforme o equipamento. Outros fatores comportamentais e hábitos de uso foram registrados de acordo com referências na literatura e pesquisa com os próprios moradores. Para calcular o consumo do ar condicionado nas residências temos a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{Ar\ cond.} \ (kWh) \\ = \sum \frac{\text{quantidade}(u) \times \text{potência}(W) \times \text{frequência}}{\times \text{tempo de uso}(h) \times \text{ciclo}} \end{aligned} \quad (4)$$

No qual:

- **Quantidade:** Representa o número de aparelhos de ar condicionado de mesma potência na residência.
- **Potência:** A potência dos aparelhos foi estabelecida de acordo com o número de BTUs do modelo.
- **Frequência:** Esse parâmetro foi estabelecido conforme hábitos descritos pelos moradores.
- **Tempo de uso:** Representa o tempo médio em horas de utilização do ar condicionado no dia. Sendo o tempo médio estabelecido de 6 horas diárias para cada aparelho.

- **Ciclo:** Coeficiente de ajuste considerado para o ciclo *on/off* do aparelho. Foi considerado para cálculo do modelo o fator multiplicador de 0,5.

3.1.4. Refrigeração

De modo é possível considerar que equipamentos utilizados para refrigeração permanecem ligados permanentemente durante o dia e ao longo do ano. No caso de geladeiras, aparelhos com uso eventual são insignificantes comparados aos de uso permanente. Para os freezers, ainda que a parcela de equipamentos utilizados de forma eventual seja maior, essa parcela ainda é significativamente menor que a parcela do uso permanente.

Estes equipamentos funcionam de forma cíclica e são acionados automaticamente através do controle de temperatura dos termostatos. A frequência desses ciclos de carga pode variar durante o dia, dependendo do quanto às geladeiras são abertas e fechadas no dia (WIDÉN; WÄCKELGÅRD, 2010).

Para fins de cálculo, o modelo considerou uma variante cíclica a fim de amenizar o consumo total do aparelho, pois estes ficam ligados interruptamente ao longo do dia por todos os dias. Assim, o consumo final é calculado de acordo com as potências das geladeiras e freezers variou de acordo com o tamanho do eletrodoméstico.

Outros fatores comportamentais e hábitos de uso foram registrados de acordo com referências na literatura e pesquisa com os próprios moradores. Para calcular o consumo do ar condicionado nas residências temos a seguinte equação:

$$\text{Consumo}_{\text{Refrigeração}} \text{ (kWh)} = \sum \frac{\text{quantidade}(u) \times \text{potência}(W) \times \text{frequência}}{\times \text{tempo de uso}(h) \times \text{ciclo}} \quad (5)$$

No qual:

- **Quantidade:** Representa o número de aparelhos de refrigeradores (geladeiras e/ou freezers) na residência.
- **Potência:** A potência média dos aparelhos estabelecida de acordo com o referencial de levantamento em campo ou fabricante do equipamento.
- **Frequência:** Permanece ligada durante todos os dias.
- **Tempo de uso:** Permanece ligada interruptamente ao longo do dia, 24 horas.

- **Ciclo:** Coeficiente de ajuste considerado para que o consumo ao longo do dia seja ponderado e considerado constante, uma vez que o ciclo *on/off* de abertura da porta é baixo. O ciclo foi adaptado de acordo com o padrão da casa.

3.1.5. Eletrodomésticos Diversos

O levantamento dos aparelhos que compõem esse cenário foi feito de forma individualizada através de pesquisa aos moradores das residências para criação do modelo. A partir disso, foi registrado a presença dele como contribuinte para o consumo final baseando-se numa média de potência para cada tipo de equipamento, frequência e tempo de uso.

No entanto, para fins de análise e contribuições percebe-se que apesar de eles representarem um grande consumo de energia na residência em conjunto, estes não respondem individualmente pelo mesmo efeito. Além disso, a grande variedade equipamentos presente nesta categoria dificulta o levantamento de informações individualizadas, pois o comportamento e hábitos individuais de cada residência são singulares na descrição e cálculo de utilização para um estudo de uso final.

Dentre os aparelhos que mais colaboram nesta categoria são televisores, máquinas de lavar, micro-ondas, ferro de passar. Nesta gama de eletrodomésticos, alguns são majoritariamente presentes dentro das casas dos brasileiros como os televisores, representantes de grande frequência e tempo de uso. Ou, por outro lado, os que apresentam um maior consumo individual, devido as suas altas potência, como ferro de passar e micro-ondas, mas não apresentam uso contínuo.

Nesta categoria os fatores comportamentais e hábitos de uso foram primordiais para entendimento e aproximação dos registrados de cálculo. De forma simplificada utilizou-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Diversos}} \text{ (kWh)} \\ = \sum \frac{\text{quantidade}(u) \times \text{potência}(W) \times \text{frequência}}{\times \text{tempo de uso}(h) \times \text{ciclo/standby}} \end{aligned} \quad (6)$$

No qual:

- **Quantidade:** Representa o número de equipamentos de mesmo uso final na residência.

- **Potência:** A potência foi estabelecida individualmente para cada equipamento de acordo com o referencial de levantamento em campo ou fabricante do equipamento.
- **Frequência:** Considerou-se nesse fator os hábitos rotineiros da casa, esse fator adquirido em pesquisas comportamentais com os moradores.
- **Tempo de uso:** Considerou-se os tempos estabelecidos para cada eletrodoméstico presente na casa.
- **Ciclo:** Coeficiente de ajuste considerado para determinados aparelhos quando necessário. O ciclo foi utilizado nas máquinas de louça, roupa; para aparelhos como televisores, telas, computador CPU considerou-se o tempo de *standby*. Ambos foram calculados de acordo com a categoria de padrão da casa.

3.2. ESTUDO DE CASO

Para a construção do modelo proposto foi utilizado o software *Microsoft Excel*. O modelo reunirá dados através da abordagem de variáveis pertinentes para cada uso final construindo a demanda energética mensal de uma residência. De acordo com cada equipamento foi determinada a sua quantidade, potência, frequência e tempo de uso. Essas variáveis constituem o padrão de comportamento que definirá a previsão de consumo prevista no modelo.

O estudo de caso foi realizado em residências localizadas na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do sul – Brasil. Foram realizados registros aleatórios na escolha de mais de uma unidade residencial como forma a diversificar a quantidade de moradores, equipamentos de posse e hábitos no tempo de utilização, pois como visto anteriormente estes critérios estão diretamente associados e influenciam no consumo de energia elétrica.

3.2.1. Primeira casa analisada

A casa é habitada por uma família de 3 pessoas de diferentes idades, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. A recolha de dados foi realizada entre os dias 08/10 e 14/10.

Tabela 2 - Relação de cargas e comportamento da residência A

CASA A	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	GRANDE	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Batedeira	1	150	Esporádico	0,083	0,002
Bomba d' água 1CV	1	1000	1x semana	1,000	0,143
Chuveiro	1	5500	2x dia	0,133	1,467
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Espremedor de frutas/liquidificador	2	200	2x semana	0,167	0,010
Ferro de passar (semana)	1	1200	1x semana	2,000	0,343
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	24	15	Todo dia	36,000	2,754
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,206
Motor do Portão	1	400	Todo dia	0,333	0,133
Micro-ondas	1	1000	3x semana	0,083	0,036
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Refletor	1	500	1x semana	4,000	0,286
Sanducheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Televisão 40"	1	180	Todo dia	6,000	0,216
Televisão 50"	1	200	Todo dia	6,000	0,240

Fonte: Autor

3.2.2. Segunda casa analisada

A casa é habitada por uma família de 3 pessoas de diferentes idades, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. A recolha de dados foi realizada entre os dias 22/10 e 28/10.

Tabela 3 - Relação de cargas e comportamento da residência B

CASA B	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	PEQUENO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	4x dia	0,133	2,933
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Esporádico	0,083	0,002
Ferro de passar (dia)	1	1200	Todo dia	0,083	0,100
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	13	15	Todo dia	19,500	1,492
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,206
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Sanducheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Televisão 50"	1	200	Todo dia	6,000	0,240
Ventilador Mesa	1	50	Todo dia	5,000	0,250

Fonte: Autor

Com a relação de cargas em cada uma das residências e o estudo comportamental de hábitos de utilização das famílias o consumo final previsto durante um dia foi calculado. Ele foi estabelecido como a somatória do consumo de cada um dos equipamentos e seu resultado mensal obtido através da média convertida para o número de dias (30) durante o mês. Aplicando a metodologia desenvolvida, na somatória de cada um dos cálculos desenvolvidos no trabalho foram obtidos os seguintes resultados de consumo nas residências:

- **Residência A:** 15,893 kWh (dia) / 476,798 kWh (mês)
- **Residência B:** 6,726 kWh (dia) / 201,770 kWh (mês)

O ajuste dos resultados foi segmentado de acordo com as suas características oscilatórias sujeitas as relações comportamentais de cada casa. A estimativa para o desenvolvimento e ajuste do sistema especialista se faz pela comparação dos valores obtidos no modelo e um analisador de energia instalado nas residências. Primeira etapa para consolidação do levantamento de consumo residencial proposto neste trabalho.

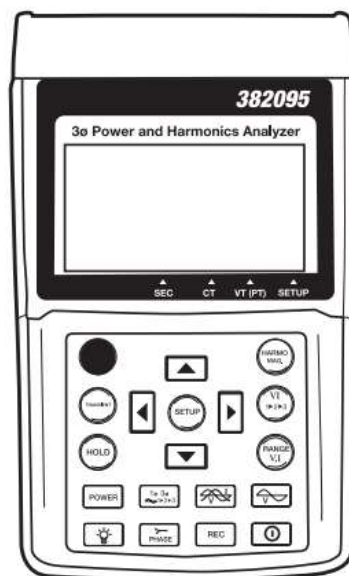
3.3. APARELHO MEDIDOR DE ENERGIA

O medidor de energia é um aparelho que possibilita a recolha de dados do fornecimento de energia da qual podem ser identificadas anormalidades, ele afere valores de potências fundamentais, energia e harmônicos dentro de diversos intervalos de tempo.

Os analisadores podem ser empregados pra medir fluxo de energia em sistemas de corrente alternada ou contínua. Com eles, torna-se possível fazer a detecção da corrente e da tensão do sistema. O cálculo do consumo e da demanda de energia elétrica também pode ser realizado por meio do analisador de energia. (INSTRUTEMP, 2021)

Para a aferição de consumo nas residências foi utilizado o equipamento modelo 382095 - *Power and Harmonics Analyzer* do fabricante EXTECH Instruments. Apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Medidor de energia utilizado



Fonte: (EXTECH – User Manual)

Com esse analisador de energia foi possível realizar medições de sistemas bifásicos e trifásicos com neutro e terra. Para a medição de tensão são utilizadas cinco pontas de provado tipo clipe-jacaré (três para as fases, uma para o neutro e uma para o terra), para a amperimétrica são quatro alicates (três para as fases e uma para o neutro). De tal forma que o instrumento é capaz de realizar medições e armazenamento das principais grandezas elétricas, tais como, tensão, corrente, potência, fator de potência, etc...

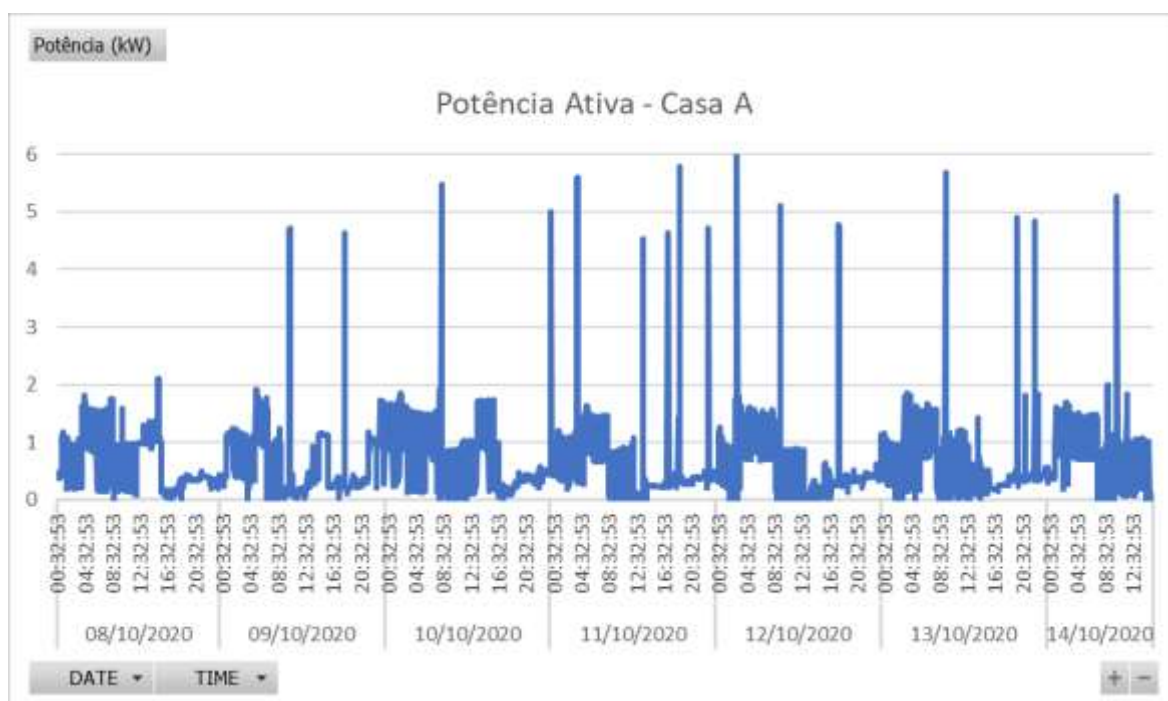
No *menu* de configurações, optou-se pelo padrão de medição correspondente. Para as pontas de prova de tensão, foi adotado tensão nominal de 127V. Para as pinças foi selecionada a corrente de 100A. O instrumento foi conectado junto a saídas dos alimentadores na medição de entrada das residências para os registros de dados.

O aparelho permaneceu instalado nas residências durante uma semana, para que um ciclo de coleta fosse completo. Os registros foram importados para o *software Microsoft Excel* para análise dos gráficos com as curvas de potência que vão embasar o comportamento do consumo nas residências.

3.4. CURVA DA POTÊNCIA ATIVA

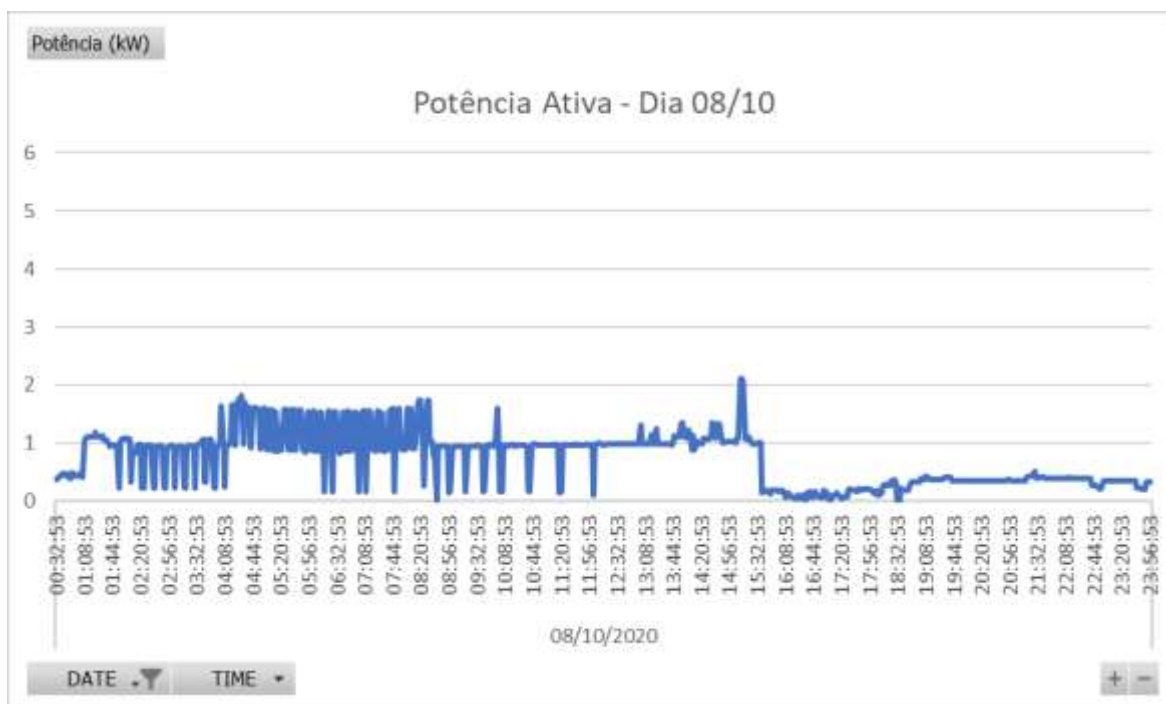
3.4.1. Primeira casa analisada

Figura 16 - Curva de Potência dos dias 08/10 a 14/10 – Casa A



Fonte: Autor

Figura 17 - Curva de Potência – Dia 08/10



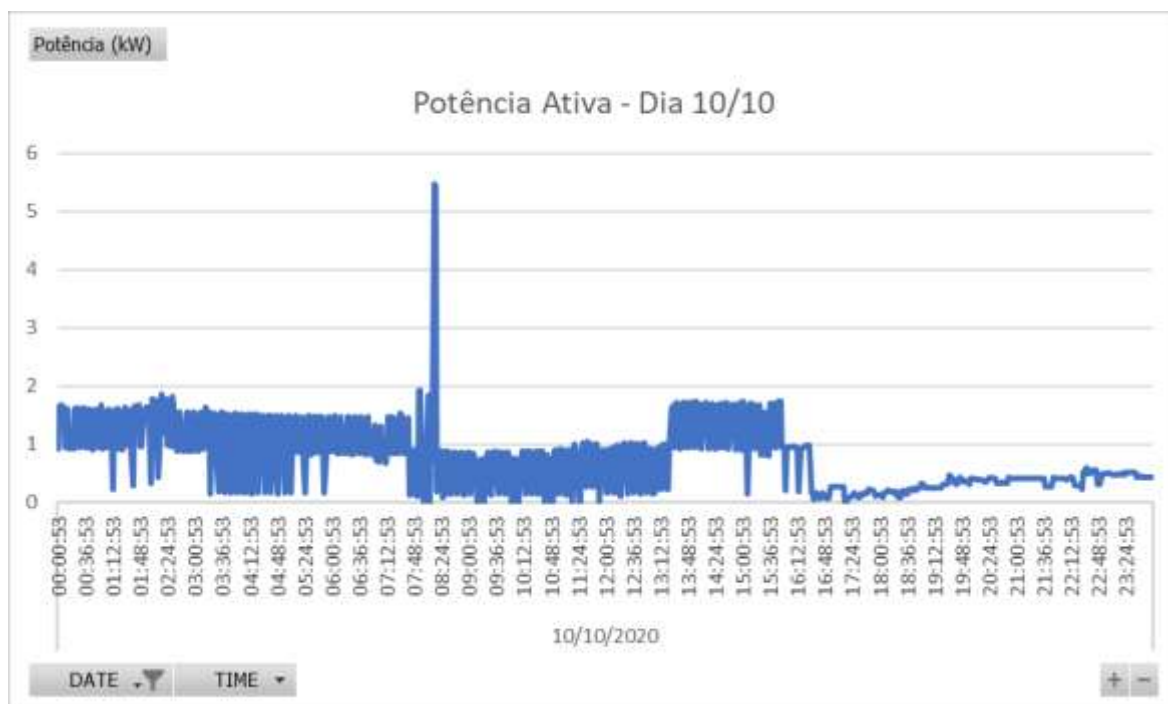
Fonte: Autor

Figura 18 - Curva de Potência – Dia 09/10



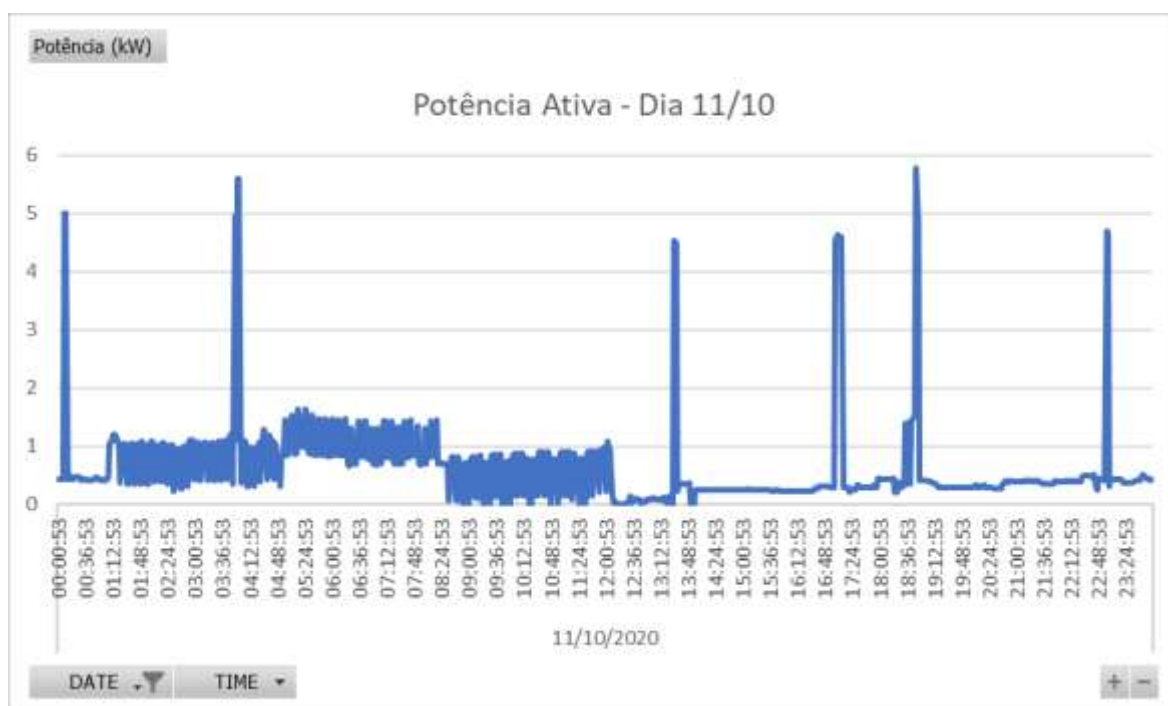
Fonte: Autor

Figura 19 - Curva de Potência – Dia 10/10



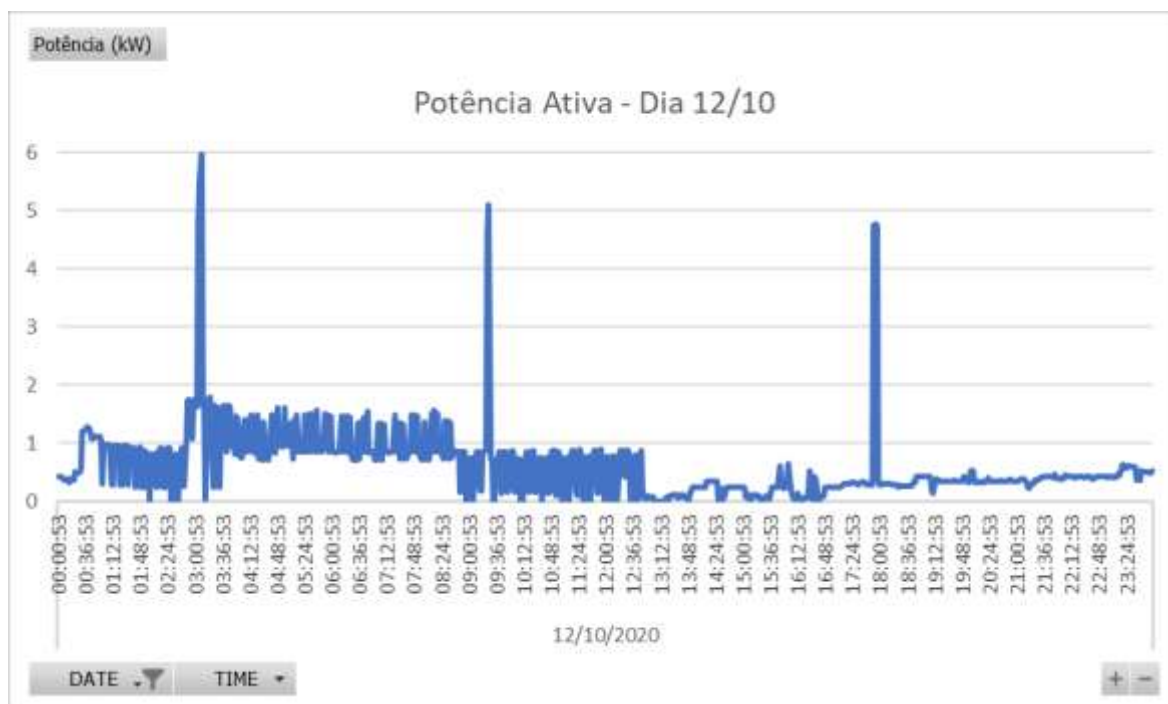
Fonte: Autor

Figura 20 - Curva de Potência – Dia 11/10



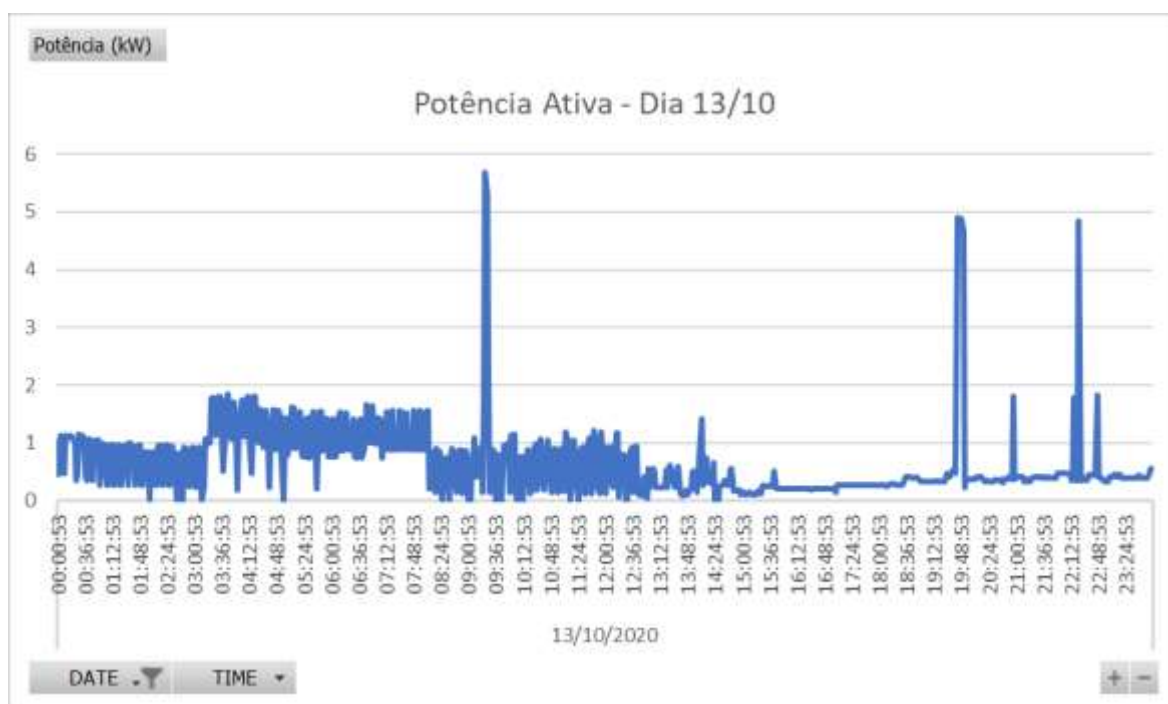
Fonte: Autor

Figura 21 - Curva de Potência – Dia 12/10



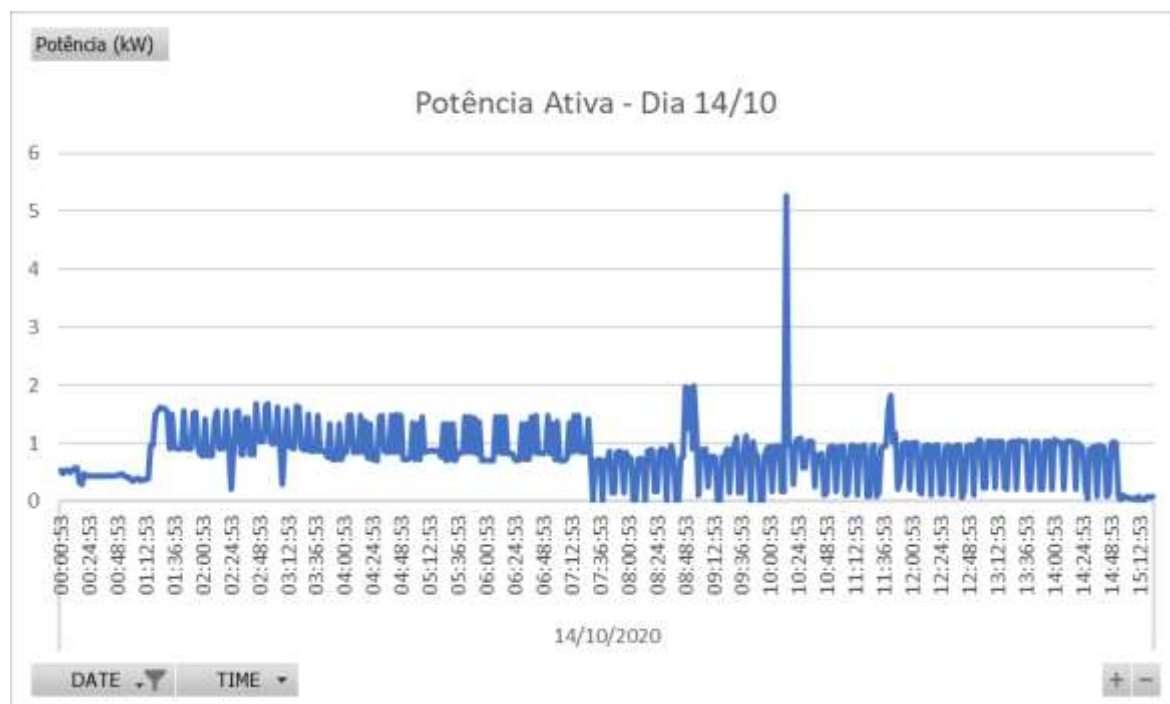
Fonte: Autor

Figura 22 - Curva de Potência – Dia 13/10



Fonte: Autor

Figura 23 - Curva de Potência – Dia 14/10



Fonte: Autor

Os dados recolhidos da casa A foram plotados e representados em gráficos diários para serem analisados de forma rápida e simplificada. Para facilitar a compreensão do perfil e nos atermos ao padrão de comportamento da residência divide-se a análise em três faixas de horário a seguir:

a) Das 00:00 as 7:59;

Nesse horário é característico os moradores estarem dormindo ou com baixa atividade na residência. No entanto, notamos oscilações constantes entre 0,5 W e 1,5 W na madrugada, o que remete ao uso de aparelhos cíclicos. Nesse caso, a casa apresenta ar condicionado, um aparelho de alta potência que segue as características típicas de uso nesse período com baixa variação.

b) Das 8:00 as 15:59;

Nesse período nota-se um pico de potência proveniente do uso do chuveiro pela manhã. A potência demandada geral diminui em relação à primeira faixa de horário, uma vez que o ar condicionado é desligado e o cenário remete a utilização de eletrodomésticos diversos rotineiro na casa, mas de baixa potência.

c) Das 16:00 as 23:59;

Novamente nota-se picos de consumo característicos pelo uso de aparelhos de alta potência, uma vez que os banhos no fim do dia são mais comuns. Observa-se uma queda de

potência, na qual grande parte dos eletrodomésticos são desligados, obtendo somente a curva de registros permanentes e baixa potência.

Nos registros obtidos temos o valor ponto a ponto dentro de um intervalo de tempo. Por definição, a multiplicação dos valores de potência, registrados no medidor de energia, num intervalo de tempo resulta no consumo. Assim, o valor da média diária, 24 horas, é a integração de cada registro em um tempo(t) assumindo o consumo esperado para a residência.

Para cada dia de medição foram registradas as potências demandadas e calculada a média do consumo no dia. Afim de evitarmos resultados de dias que se distinguem do esperado foi feita uma média geral dentre todos os dias. A Tabela 4 a seguir registra os valores encontrados:

Tabela 4 - Média do consumo por dia aferido na casa A

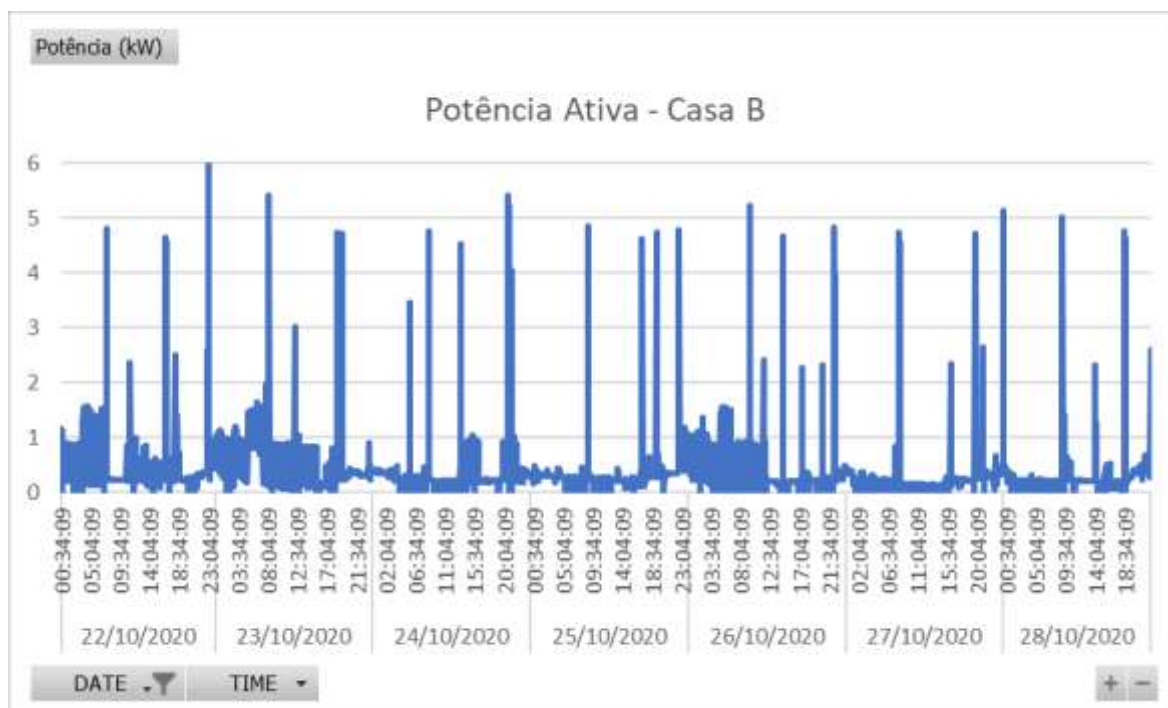
Data	Potência (kW)	Média (t)	Média (dia)
08/10/2020	522,82	0,7426	17,8234
09/10/2020	487,43	0,6770	16,2477
10/10/2020	573,31	0,7963	19,1103
11/10/2020	460,19	0,6392	15,3397
12/10/2020	449,59	0,6244	14,9863
13/10/2020	481,13	0,6682	16,0377
14/10/2020	374,44	0,8087	19,4094
MÉDIA GERAL	478,42	0,7081	16,9935

Fonte: Autor

De acordo com os valores obtidos pela tabela acima, considerando apenas o número de dias (30) como critério, a média do consumo para um mês é de: 509,79 kWh.

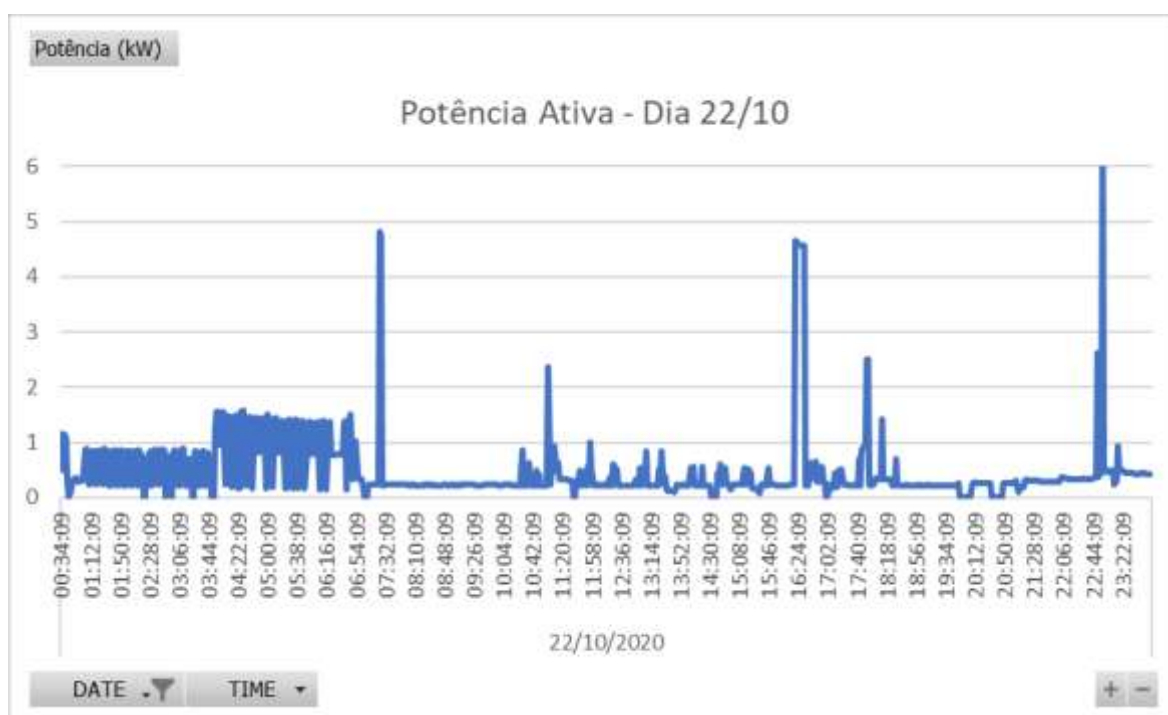
3.4.2. Segunda casa analisada

Figura 24 - Curva de Potência do dia 22/10 até 28/10 – Casa B



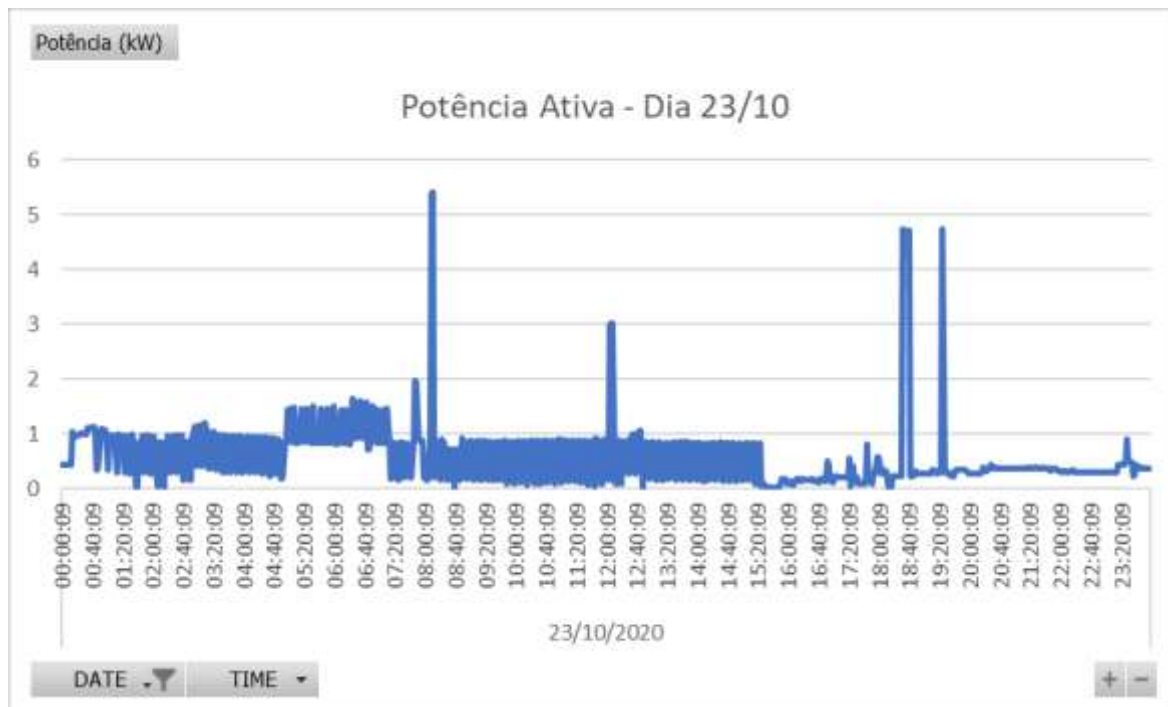
Fonte: Autor

Figura 25 - Curva de Potência - Dia 22/10



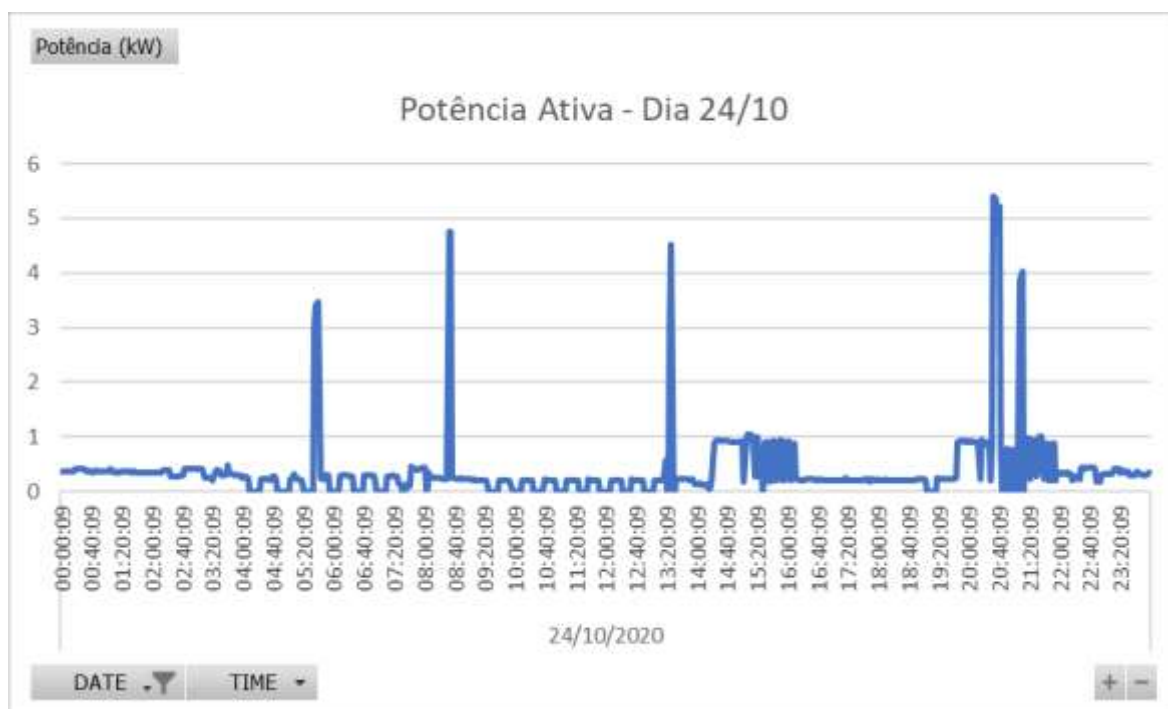
Fonte: Autor

Figura 26 - Curva de Potência - Dia 23/10



Fonte: Autor

Figura 27 - Curva de Potência - Dia 24/10



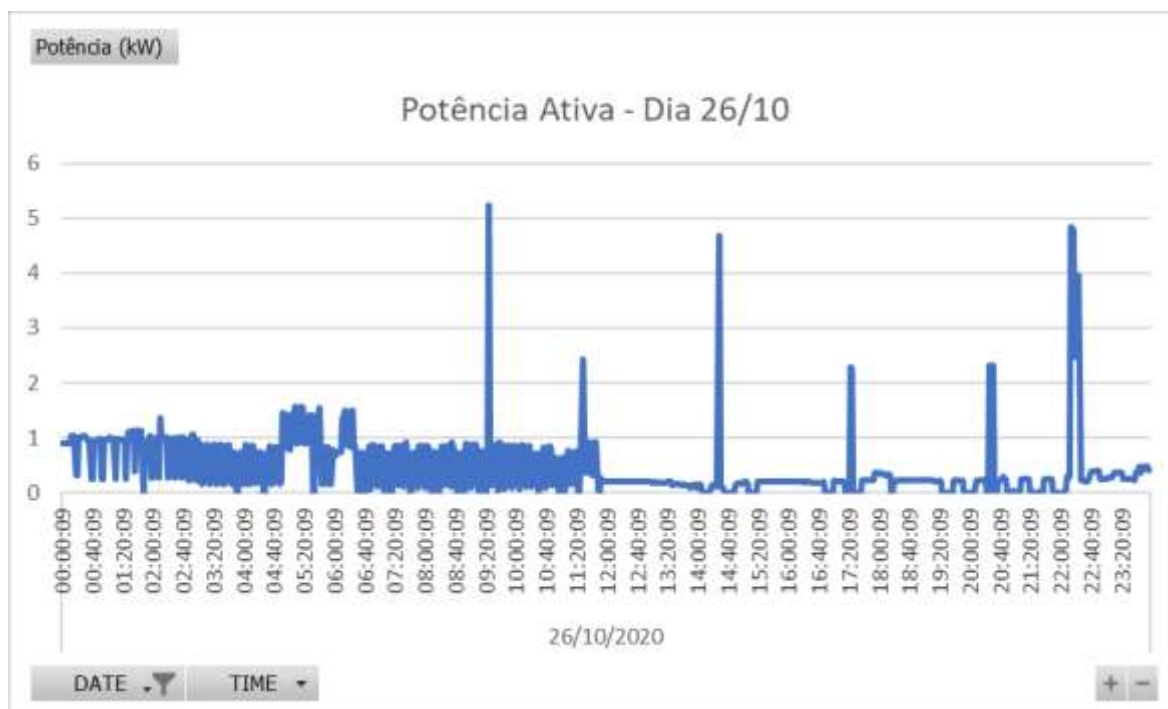
Fonte: Autor

Figura 28 - Curva de Potência - Dia 25/10



Fonte: Autor

Figura 29 - Curva de Potência - Dia 26/10



Fonte: Autor

Figura 30 - Curva de Potência - Dia 27/10



Fonte: Autor

Figura 31 - Curva de Potência - Dia 28/10



Fonte: Autor

De maneira semelhante, os dados recolhidos da casa foram plotados e representados em gráficos diários, para facilitar a compreensão do perfil comportamental da residência divide-se a análise em três faixas de horário a seguir:

a) Das 00:00 às 7:59;

Nota-se um consumo baixo na madrugada característico de baixa atividade na residência durante a madrugada. Os valores ficam abaixo de 1kW perfil de consumo é tende a seguir os valores para equipamentos que trabalham em regime permanente. Observa-se também, no começo da manhã, o pico de potência característico do chuveiro.

b) Das 8:00 às 15:59;

A potência demandada não sofreu grandes variações comparadas ao primeiro horário. No entanto, foram constatados diversos picos de potência remetendo-se novamente a utilização de eletrodomésticos diversos na casa, mas de baixa potência. Esse horário sofreu grande variação em cada um dos dias, indicando mudanças na rotina dos moradores na casa.

c) Das 16:00 às 23:59;

Novamente os picos de consumo característicos pelos chuveiros, uma vez que os banhos no final do dia são comuns. A potência demandada na casa sofre pequenas variações no período noturno, na qual poucos aparelhos de grande porte estão ligados, voltando aos registros permanentes ou de baixa potência.

Realizou-se as operações na residência B, aplicando os mesmos cálculos a partir da potência registrada nos medidores para se obter o consumo médio num intervalo de tempo e por consequência o diário. A Tabela 5 a seguir registra os valores encontrados:

Tabela 5 - Média do consumo por dia aferido na casa B

Data	Potência (kW)	Média (t)	Média (dia)
22/10/2020	348,70	0,4960	11,9044
23/10/2020	447,21	0,6211	14,9070
24/10/2020	279,26	0,3879	9,3087
25/10/2020	233,65	0,3245	7,7883
26/10/2020	348,07	0,4834	11,6023
27/10/2020	178,57	0,2480	5,9523
28/10/2020	182,19	0,2703	6,4875
MEDIA GERAL	288,24	0,4045	9,7072

Fonte: Autor

Portanto, o consumo médio mensal para a residência, de acordo com a tabela acima, é de: 291,216 kWh.

3.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

O modelo foi proposto através a metodologia *bottom-up* que aplica a previsão de consumo baseada no uso final dos equipamentos. Dentre as inúmeras referências na literatura que aplicam esse método, este trabalho teve como intuito facilitar os cálculos utilizando parâmetros (quantidade, potência, frequência, tempo de uso) e coeficientes (ciclo e utilização) simplificados para determinar o consumo residencial.

Através da lista de cargas presente em cada uma das residências obteve-se uma relação das potências dos principais equipamentos na casa e assim foi possível admitir a primeira base para os cálculos comparativos do modelo. Os valores de potência em watts (W) que foram relacionadas no modelo sugerem uma média dentre os diversos os tipos de marcas, tamanhos e qualidade, mas que apresentam a mesma funcionalidade ou uso final.

No entanto, vimos que somente a listagem de equipamentos não é suficiente para o desenvolvimento do estudo, por isso estabelece-se o tempo médio em horas que o equipamento é utilizado durante o dia. Além disso, foi preciso um levantamento com os moradores para que fosse aplicável o comportamento e hábitos nas residências. Esse questionário determinou principalmente ajustes na frequência de uso dos objetos levantados em questão. Por fim, adicionou coeficientes que aprimoraram o modelo em equipamentos que apresentavam ciclos de operação ou tempo de espera (*standby*), determinado em literaturas ou como forma de ajuste.

A aplicação do cálculo foi feita por etapas, os aparelhos foram então categorizados de acordo com a sua contribuição na residência, sendo elas: iluminação, aquecedores de água, climatização, refrigeração e eletrodomésticos diversos. Esses nichos de separação facilitaram o determinar a equação correspondente a cada um dos itens pertencentes que forma o consumo total diário esperado. Uma vez que o modelo de cálculo foi desenvolvido, a etapa seguinte foi sustenta-lo através de estudos de caso, ou seja, aplica-lo para verificar a coerência dos resultados.

A formação do modelo foi feita em duas residências com diferentes equipamentos e hábitos diários. Para isso, foi instalado um medidor de energia que recolhe os dados de potência e energia consumida no local e assim foi possível comparar os resultados teste do modelo com os valores experimentais adquiridos em campo nas casas em questão.

Os cenários propostos das casas analisadas mostram diferentes comportamentos do consumo residencial. A primeira residência tem um consumo maior, uma vez que esta apresenta um maior número de cargas, principalmente dentre as categorias de alta potência. A segunda apresenta um consumo inferior, no qual os picos e registros intermitentes se destacam. Os picos de consumo que são identificados em ambas as casas são normalmente aquecedores de água ou os aparelhos que tem maior influência de potência, ou seja, variam principalmente de acordo com o número de moradores e hábitos mencionados.

Além disso, os “equipamentos diversos” tem potencial de representar uma grande parte da carga da residência, pois estes equipamentos tem grande participação nos horários de pico. Dentre eles, a grande variedade e poucas referências literárias feitas individualmente dificultam a análise individual. Para os demais horários, as casas permanecem com os aparelhos de pouco consumo como iluminação e em modo *standby*, que devido a sua baixa potência individualmente não apresentam grandes relevâncias.

Nas Tabelas 2 e 3 temos os valores obtidos de acordo com o modelo e nas Tabelas 4 e 5 os registros de acordo com o medidor de energia para o consumo diário. Portanto, o estudo de caso possibilitou atingirmos a relação entre o que foi proposto no modelo e contemplado pelo analisador de maneira satisfatória, uma vez que o consumo médio diário calculado foi aproximado do registrado.

4. RESULTADOS

O presente trabalho apresentou uma proposta em que o consumo da carga residencial pode ser observado de acordo com sua variação ao longo de um dia e o mês. O modelo desenvolvido permite que se observem as contribuições de cada uso final e como eles impactam num todo. Nesta etapa, a aplicação do modelo se torna-se mais abrangente, de tal maneira que foram realizados testes de hipótese com outras residências como ferramenta de análise estatística para os resultados.

Neste capítulo serão analisados e discutidos os resultados provenientes em demais aplicações do modelo capazes de validar didaticamente a previsão de consumo. Haja vista que o cálculo desenvolvido tem objetivo facilitar e implementar o conhecimento sobre as contribuições de maneira acessível. O capítulo de resultados será focado numa comparação mais direta naquilo que pode ser apresentado pela concessionária, conta de energia, para que os moradores, clientes, entendam o princípio de contribuição de cada equipamentos no consumo, bem como as consequências do seu uso final para o sistema de distribuição de energia elétrica.

As seções de cada item foram divididas em duas vertentes para cada residências, sendo o primeiro o modelo com a relação de cargas para estimar a previsão de consumo médio e o segundo referente ao cenário aplicado nas concessionárias, apontando o histórico de consumo com valores de média e máxima, como um indicador verídico.

A metodologia utilizada para a obtenção dos dados referência para cada uma das demais residências foi a mesma empregada no Capítulo 3, deste trabalho. Foram levantadas as principais cargas da casa e estudado o comportamento e hábitos dos moradores. A partir disso, aplicamos os cálculos do modelo desenvolvido e comparamos com o histórico de consumo apresentado na conta de energia.

Os resultados foram divididos em três faixas de acordo com o gasto em kWh médio constatado, para uma caracterização direcionada aos ajustes e assim, identificar uma possível trajetória para o modelo. Foram estabelecidas casas de porte pequeno, médio e grande para auxiliar nessa etapa.

Em decorrência deste estudo, são obtidas análises da influência destes equipamentos no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro. Proporciona também uma visão abrangente dos resultados e, através da soma dos potenciais obtidos para todas as faixas de consumo, é estimado o potencial total de economia de energia elétrica para o setor residencial mediante a aplicação dos requisitos do regulamento residencial. (MORISHITA, 2011)

4.1. VALIDAÇÃO DO MODELO

Devido a variação do consumo médio por domicílio, verifica-se para o cenário uma distribuição por faixas de consumo, discriminadas pelo padrão da residência como forma de facilitar este trabalho. A primeira faixa varia entre o mínimo estabelecido pela concessionária e vai até 200kWh/mês – padrão: PEQUENO; a segunda está entre 201 a 300 kWh/mês – padrão: MÉDIO e a terceira passa a ser para os domicílios com consumo acima de 300 kWh/mês – padrão: GRANDE. Os resultados relativos aos usos finais dos equipamentos são expostos juntamente aos resultados do cenário técnico no item 3.1 deste trabalho.

4.1.1. Consumo de até 200 kWh: Casa 1

A casa é habitada por 1 morador, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 6, bem como suas potências e comportamentos de uso do morador.

Tabela 6 - Relação de cargas e comportamento da residência 1

CASA 1	NÚMERO DE MORADORES	1	PORTE	PEQUENO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	1x dia	0,133	0,733
Cafeteira	1	300	Esporádico	0,083	0,003
Ferro de passar (dia)	1	1200	Esporádico	0,083	0,013
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	6	15	Todo dia	9,000	0,230
Máquina de roupas	1	800	1x semana	3,000	0,103
Micro-ondas	1	1000	Esporádico	0,083	0,011
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Tela 25"	1	60	Todo dia	4,000	0,048
Ventilador Mesa	1	50	Todo dia	5,000	0,250

Fonte: Autor.

Aplicando as equações apresentadas neste trabalho, na somatória de cada um dos cálculos individuais, foi obtido o resultado de consumo na residência 1: 2,887 kWh (dia).

Para definirmos o consumo mensal de maneira geral e simplificada, assumimos que não há diferenças entre os dias considerados, portanto o valor deve ser multiplicado por 30, representado cada dia no mês. Para o consumo médio mensal foi encontrado o seguinte resultado:

- **Residência 1:** 86,62 kWh (mês)

Como ponto de prova, compara-se o histórico de consumo da residência apresentado na Figura 32, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 70kWh para o ano e o maior valor registrado de 83kWh (mês).

Figura 32 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 1



Fonte: Autor adaptado da conta de energia (Energisa)

4.1.2. Consumo de até 200 kWh: Casa 2

A casa é habitada por 2 moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 7, bem como suas potências e comportamentos de uso do morador.

Tabela 7 - Relação de cargas e comportamento da residência 2

CASA 2	NÚMERO DE MORADORES	2	PORTE	PEQUENO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Computador CPU	1	200	Todo dia	8,000	0,320
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Esporádico	0,083	0,002
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	6	15	Todo dia	9,000	0,459
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,206
Micro-ondas	1	1000	3x semana	0,083	0,036
Notebook	2	40	Todo dia	10,000	0,400
Sandueira	1	600	3x semana	0,083	0,021
Televisão 40"	1	180	Todo dia	6,000	0,216
Ventilador Mesa	1	50	Todo dia	5,000	0,250
Ventilador Teto	1	40	Todo dia	5,000	0,200

Fonte: Autor.

A somatória de cada um dos cálculos individuais aplicado nas equações do modelo, tem como resultado de consumo diário na residência 2 de: 5,606 kWh (dia). Para o consumo médio mensal foram realizados os cálculos e encontrado o seguinte valor:

- **Residência 2:** 168,18 kWh (mês)

Na Figura 33, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 126kWh para o ano e o valor máximo registrado de 154kWh (mês).

Figura 33 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 2



Fonte: Autor adaptado da conta de energia (Energisa)

4.1.3. Consumo de até 200 kWh: Casa 3

A casa é habitada por **3** moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 8, bem como suas potências e comportamentos de uso do morador.

Tabela 8 - Relação de cargas e comportamento da residência 3

CASA 3	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	PEQUENO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	2x dia	0,133	1,467
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Computador CPU	2	200	Todo dia	16,000	0,640
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Esporádico	0,083	0,002
Ferro de passar (dia)	1	1200	3x semana	0,083	0,043
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	14	15	Todo dia	21,000	1,607
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,206
Notebook	2	40	Todo dia	10,000	0,400
Sanduícheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Tela 25"	1	60	Todo dia	4,000	0,048
Televisão 40"	3	180	Todo dia	18,000	0,648
Umidificador	1	30	Todo dia	5,000	0,150
Ventilador Mesa	1	50	Todo dia	5,000	0,250

Fonte: Autor.

A somatória de cada um dos cálculos individuais aplicado nas equações do modelo, tem como resultado de consumo diário na residência 3: 8,963 kWh (dia). Para o consumo médio mensal foram realizados os cálculos e encontrado o seguinte valor:

- **Residência 3:** 268,87 kWh (mês)

Na Figura 34, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 154 kWh para o ano e o valor máximo registrado de 211 kWh (mês).

Figura 34- Histórico do consumo da conta de energia – Casa 3



Fonte: Autor adaptado da conta de energia (Energisa)

4.1.4. Consumo de até 200 kWh: Casa 4

A casa é habitada por 4 moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 9, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 9 - Relação de cargas e comportamento da residência 4

CASA 4	NÚMERO DE MORADORES	4	PORTE	PEQUENO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	4x dia	0,133	2,933
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	3x semana	0,083	0,007
Ferro de passar (dia)	1	1200	3x semana	0,083	0,043
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,296
Lâmpada	12	15	Todo dia	18,000	1,836
Máquina de costura	1	100	1x semana	1,000	0,014
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,206
Micro-ondas	1	1000	2x semana	0,083	0,024
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Televisão 40"	1	180	Todo dia	6,000	0,216
Ventilador Mesa	1	50	1x semana	5,000	0,036
Ventilador Teto	2	40	Todo dia	10,000	0,400

Fonte: Autor

A somatória de cada um dos cálculos individuais aplicado nas equações do modelo, tem como resultado de consumo diário na residência 4 é de: 7,211 kWh (dia). Para o consumo médio mensal foram realizados os cálculos e encontrado o seguinte valor:

- **Residência 4:** 216,32 kWh (mês)

Na Figura 34, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 163 kWh para o ano e o valor máximo registrado de 206 kWh (mês).

Figura 35 - Histórico do consumo da conta de energia – Casa 4



Fonte: Autor adaptado da conta de energia (Energisa)

As residências de 1 até 4 apresentam um consumo médio, segundo a concessionária, inferior a 200 kWh por mês, os resultados cumprem com o objetivo de apresentar coerência entre os números previstos dentro do modelo e o histórico apontado na fatura. A validação foi feita de forma direta comparando em valores a média apresentada para consumo, porém esta pode ser tornar imprecisa devida à grande variação de valores entre os meses utilizados como referência.

Essa categoria, se enquadra em residência de pequeno porte, que por consequência não apresenta um grande número de equipamentos de alta potência que são usados frequentemente, como por exemplo os chuveiros e ar condicionado. A variação no número de moradores, a listagem das cargas e a frequência de uso é o grande diferencial para se aproximar do consumo esperado nessas residências.

O levantamento comportamental rotineiro dos moradores não é preciso para mostrar o dia a dia da residência, porém pode ser usado como aparato para se mostrar o perfil de carga considerado, apresentando a eficiência dos cálculos do modelo. Mesmo com a falta de exatidão nas informações coletadas, justificadas por hábitos de uso difíceis de serem previstos e controlados, bem como condições circunstanciais, sazonalidade, características socioeconômicas, o sistema torna-se eficiente para amparar o conceito físico por trás de cada método de previsão.

4.1.5. Consumo de 201 até 300kWh: Casa 5

A casa é habitada por **1** morador, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 4.5, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 10 - Relação de cargas e comportamento da residência 5

CASA 5	NÚMERO DE MORADORES	1	PORTE	MÉDIO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Computador CPU	1	200	Todo dia	8,000	0,640
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Esporádico	0,083	0,002
Ferro de passar (dia)	1	1200	Todo dia	0,083	0,100
Fritadeira Elétrica	1	1200	Todo dia	0,583	0,700
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Lâmpada	6	15	Todo dia	9,000	0,230
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,274
Micro-ondas	1	1000	Todo dia	0,083	0,083
Sanduícheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Televisão 40"	1	180	Todo dia	6,000	0,432
Televisão 50"	1	200	Todo dia	6,000	0,480
Ventilador Teto	2	40	Todo dia	10,000	0,400

Fonte: Autor

Aplicando a relação de somatória das equações para cada um dos cálculos individuais estabelecidas pelo modelo, tem-se como resultado de consumo diário na residência 5: 7,276 kWh (dia). Para o consumo médio mensal foi encontrado o seguinte resultado:

- **Residência 5:** 218,28 kWh (mês)

Na Figura 34, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 255 kWh para o ano e o valor máximo registrado de 335 kWh (mês).

Figura 36 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 5



Fonte: Autor adaptado da Conta de energia (Energisa)

4.1.6. Consumo de 201 até 300kWh: Casa 6

A casa é habitada por 3 moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 11, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 11 - Relação de cargas e comportamento da residência 6

CASA 6	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	MÉDIO	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Chuveiro	1	5500	2x dia	0,133	1,467
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	2x semana	0,083	0,005
Ferro de passar (dia)	1	1200	2x semana	0,083	0,029
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Lâmpada	12	15	Todo dia	18,000	1,377
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,274
Micro-ondas	1	1000	Todo dia	0,083	0,083
Motor do Portão	1	400	Todo dia	0,333	0,133
Notebook	2	40	Todo dia	10,000	0,400
Sanduícheira	1	600	3x semana	0,083	0,021
Televisão 50"	1	200	Todo dia	6,000	0,480
Ventilador Mesa	3	50	Todo dia	15,000	0,750

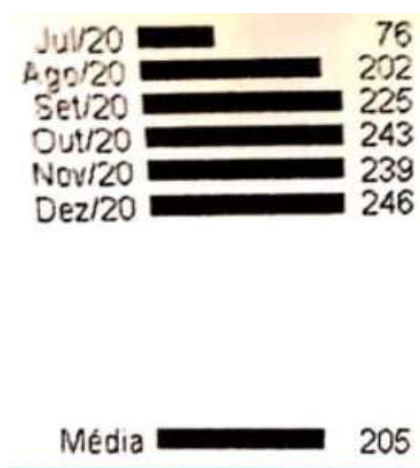
Fonte: Autor

De maneira equivalente, a somatória dos consumos individuais da residência 6 é de: 8,948 kWh (dia). Portanto para o consumo mensal, temos o que o valor médio é de:

- **Residência 6:** 268,42 kWh (mês)

Na Figura 37, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. A casa apresenta um histórico menor, pois foi feito um pedido de consumo final por fins de mudança de titularidade, portanto desconsiderou-se o mês de junho que apresentou consumo mínimo. A média geral de consumo no período é de 231kWh e a valor mais alto registrado é de 246kWh.

Figura 37 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 6



Fonte: Autor

As residências 5 e 6 apresentam uma carga e consumo maior que as primeiras, variando entre 201 até 300 kWh, elas apresentam equipamentos de grande potência que são utilizados diariamente. Trata-se de casa de médio porte com cargas pontuais que se destacam pelo uso contínuo.

Além disso, na entrevista para coleta dos dados, constatou-se que os moradores permaneciam na casa ao longo do dia, incluindo o horário comercial de trabalho. Isso pode ser um critério que influencia diretamente no gasto de energia da residência.

4.1.7. Consumo acima 300kWh: Casa 7

A casa é habitada por 3 moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 12, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 12 - Relação de cargas e comportamento da residência 7

CASA 7	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	GRANDE	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Chuveiro	1	5500	2x dia	0,133	1,467
Chuveiro	1	5500	4x dia	0,133	2,933
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Esporádico	0,083	0,002
Ferro de passar (semana)	1	1200	2x semana	2,000	0,686
Forno Elétrico	1	1000	Esporádico	0,667	0,089
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Lâmpada	15	15	Todo dia	22,500	1,721
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,274
Máquina de louça	1	1500	Todo dia	2,000	1,200
Motor do Portão	1	400	Todo dia	0,333	0,133
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Sanduícheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Secador de Cabelo	1	1000	3x semana	0,250	0,107
Tela 25"	1	60	Todo dia	4,000	0,096
Televisão 50"	1	200	Todo dia	6,000	0,480
Ventilador Mesa	2	50	Todo dia	10,000	0,500

Fonte: Autor

Aplicando a relação de somatória das equações para cada um dos cálculos individuais estabelecidas pelo modelo, tem-se como resultado de consumo diário na residência 7 de: 17,024 kWh (dia). Para o consumo médio mensal foi encontrado o seguinte resultado:

- **Residência 7:** 510,70 kWh (mês)

Na Figura 38, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. Ela que apresenta a média gasta de 475 kWh para o ano e seu maior valor é de 687 kWh mês.

Figura 38 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 7



Fonte: Autor adaptado da Conta de energia (Energisa)

4.1.8. Consumo acima 300kWh: Casa 8

A casa é habitada por **3** moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 13, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 13 - Relação de cargas e comportamento da residência 8

CASA 8	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	GRANDE	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Ar condicionado 7.000 BTU	1	700	Esporádico	6,000	0,280
Ar condicionado 7.000 BTU	1	700	2x semana	6,000	0,600
Ar condicionado 7.000 BTU	1	700	2x semana	6,000	0,600
Ar condicionado 7.000 BTU	1	700	Todo dia	6,000	2,100
Ar condicionado 12.000 BTU	1	1000	Todo dia	6,000	3,000
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	Todo dia	0,083	0,017
Ferro de passar (dia)	1	1200	Esporádico	0,083	0,013
Freezer vertical/horizontal	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Fritadeira Elétrica	1	1200	2x semana	0,583	0,200
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Impressora	1	80	Esporádico	0,083	0,001
Lâmpada	17	15	Todo dia	25,500	1,951
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,274
Micro-ondas	1	1000	Todo dia	0,083	0,083
Notebook	3	40	Todo dia	15,000	0,600
Sanduicheira	1	600	1x semana	0,083	0,007
Televisão 40"	2	180	Todo dia	12,000	0,864
Ventilador Teto	3	40	Todo dia	15,000	0,600

Fonte: Autor

A somatória de cada um dos cálculos individuais, foi obtido o resultado de consumo na residência 8: 16,846 kWh (dia). Portanto para o consumo mensal, multiplicado esse valor por 30 dias, o valor médio é de:

- **Residência 8:** 505,39 kWh (mês)

Figura 39, apresenta o histórico de consumo na conta de energia da Casa 8. A média anual foi de 357 kWh e o valor máximo de 579 kWh mês.

Figura 39 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 8



Fonte: Autor adaptado da Conta de energia (Energisa)

4.1.9. Consumo acima 300kWh: Casa 9

A casa é habitada por 3 moradores, possui alimentação de entrada bifásica 127/220 Volts com neutro. Os principais equipamentos presentes na residência estão relacionados na Tabela 14, bem como suas potências e comportamentos de uso dos moradores.

Tabela 14 - Relação de cargas e comportamento da residência 9

CASA 9	NÚMERO DE MORADORES	3	PORTE	GRANDE	
Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)	Frequência	Tempo (h)	Consumo (dia)
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Ar condicionado 9.000 BTU	1	900	Todo dia	6,000	2,700
Chuveiro	1	5500	2x dia	0,133	1,467
Chuveiro	1	5500	3x dia	0,133	2,200
Chuveiro	1	5500	Esporádico	0,133	0,098
Churrasqueira elétrica	1	600	Esporádico	1,000	0,080
Espremedor de frutas/liquidificador	1	200	1x semana	0,083	0,002
Ferro de passar (semana)	1	1200	1x semana	2,000	0,343
Forno Elétrico	1	1000	1x semana	0,667	0,095
Geladeira	1	180	Todo dia	24,000	1,728
Lâmpada	20	15	Todo dia	30,000	2,295
Máquina de roupas	1	800	2x semana	3,000	0,274
Motor do Portão	1	400	Todo dia	0,333	0,133
Micro-ondas	1	1000	2x semana	0,083	0,024
Notebook	1	40	Todo dia	5,000	0,200
Sanduícheira	1	600	Esporádico	0,083	0,007
Secador de Cabelo	1	1000	3x semana	0,250	0,107
Televisão 40"	2	180	Todo dia	12,000	0,864

Fonte: Autor

De maneira equivalente, a somatória dos consumos individuais da residência 9 é de: 15,317 kWh (dia). Portanto para o consumo mensal, temos o que o valor médio é de:

- **Residência 9:** 459,51 kWh (mês)

Na Figura 40, temos o histórico de consumo da residência, obtido na fatura de energia. A média geral de consumo no período é de 335 kWh e o valor máximo de 409kWh.

Figura 40 - Histórico de consumo da conta de energia – Casa 9

MES	CONSUMO FATURADO
DEZ/20	248
NOV/20	175
OUT/20	401
SET/20	381
AGO/20	332
JUL/20	313
JUN/20	341
MAI/20	314
ABR/20	314
MAR/20	409
FEV/20	390
JAN/20	394

Fonte: Autor adaptado da Conta de energia (Energisa)

As residências com consumo acima de 300 kWh apresentam uma vasta lista de equipamentos que contribuem para tal gasto, além disso, nota-se a presença de climatizadores, ar condicionado, grandes agentes para o aumento de carga. O alto consumo caracteriza as últimas casas como de grande porte.

A validação para residências com um alto consumo tendem a apresentarem uma maior diferença entre os valores encontrados pelas equações e os registrados na fatura, pois residência uma com grande quantidade de cargas considerada tem por consequência, resultados de precisão mais difíceis de serem alcançados. No entanto, a comparação se mostrou válida pois foram encontradas porcentagens de erro dentro do esperado.

4.2. TESTE DE HIPÓTESE

O teste de hipótese foi aplicado de acordo com MONTGOMERY e RUNGER (2003) para a média de uma distribuição normal de variância desconhecida. Para a hipótese nula, $H_0 = \mu_0$, é observado da estatística de teste um T_0 , de acordo com a equação.

$$T_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (6)$$

Na Tabela 15, é apresentado uma aglutinação dos resultados das residências. A equação acima é aplicada para o valor médio e para o máximo encontrado nas faturas de energia de cada residência.

Tabela 15 - Análise de resultados para teste de hipótese

RESULTADOS					
RESIDÊNCIA	ANÁLISE	CALCULADO (MÊS)	MEDIDOR	MÉDIA FATURA	MÁX FATURA
CASA A	MODELO	476,80	509,79	-	-
CASA B	MODELO	201,77	291,216	-	-
CASA 1	AVALIAÇÃO	86,62	-	70	83
CASA 2	AVALIAÇÃO	168,18	-	126	154
CASA 3	AVALIAÇÃO	268,88	-	154	211
CASA 4	AVALIAÇÃO	216,33	-	163	206
CASA 5	AVALIAÇÃO	218,28	-	255	335
CASA 6	AVALIAÇÃO	268,38	-	231	246
CASA 7	AVALIAÇÃO	510,71	-	475	687
CASA 8	AVALIAÇÃO	505,39	-	357	579
CASA 9	AVALIAÇÃO	459,51	-	335	409

Fonte: Autor

Para as nove amostras de validação foi realizado o teste bilateral, para uma significância de 5%, de acordo com a distribuição t de *Student*, sendo os valores críticos são em: $\pm 2,262$.

Realizados os cálculos para o teste de hipótese (T) levando em consideração o erro de média e de máxima dos valores calculados e apresentados na fatura, segue os seguintes resultados:

- **Média dos consumos:** 2,91
- **Máxima dos consumos:** 0,86

Assim, é possível concluir com o teste de hipótese de erro para metodologia implementada rejeitamos H_0 para a amostra com valores médios da fatura. No entanto, para amostra com os valores de máximas da fatura não se rejeita a hipótese nula, para distribuição *t* de *Student*, para significância de 5%.

Portanto, podemos validar o sistema especialista como ferramenta para projetar o consumo máximo de uma residência. Tornando o aplicável como aparato para se mostrar o padrão de comportamento residencial, apresentando a contribuição de cada equipamentos no consumo. Mesmo com valores imprecisos e falta de exatidão nas informações coletadas, o sistema torna-se eficiente para amparar o conceito teórico por trás de cada método de aplicação.

4.3. CONCLUSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados se mostraram satisfatórios. Mesmo que os valores em mensurados em média não alcançaram o esperado, é importante dizer eles estão próximos dos pontos críticos e dentro de uma previsão. O casamento entre as duas topologias empregadas para a validação do modelo torna o método desenvolvido aplicável para cálculos simples e robustos. Este ainda se limita, pois não abrange uma série de fatores que aumentam sua imprecisão, porém é acessível e de fácil entendimento.

Assume-se para as amostras, que o teste de hipótese aplicado para os valores de máxima não rejeita a hipótese nula. A partir disso, consideramos que o sistema desenvolvido é projetado para o consumo máximo dentro dos domicílios. O método apresentou mecanismos de fácil entendimento, *inputs* de informações acessíveis e resultados que atestam sua aplicação, portanto, o trabalho foi concluído com êxito.

No estudo de revisão de literatura foi possível observar que o desenvolvimento de um método eficiente de certificação energética bem como a definição de seus indicadores é uma tarefa que se mostra de alta complexidade. O processo de um regulamento deve ser desenvolvido individualmente para o país em que se pretende aplicá-lo, uma vez que esse é fortemente influenciado pela combinação das características do local, tais como padrões construtivos, de consumo, uso e posse de equipamentos, climáticos, culturais, demográficos, políticos, econômicos e sociais (MORISHITA, 2011).

5. CONCLUSÕES GERAIS

Neste trabalho foi proposto e analisado um modelo de cálculo para o levantamento do consumo médio mensal de uma residência. Nas entrelinhas de uma análise geral, o foco foi estabelecer uma previsão através de equações simples e intuitivas para que esta seja aplicável desde os moradores, através do conhecimento básico de entendimento sobre o assunto, até um conjunto de informações que podem ser utilizadas pelas concessionárias como indicadores para traçar possíveis trajetórias dentro do setor elétrico.

Em relação à dificuldade já encontrada na literatura, devido ao uso de métodos complexos com infinitudes de fatores a serem considerados que influenciam direta ou indiretamente no desempenho no consumo de energia elétrica. As limitações do trabalho e a disponibilidade de dados, optou-se por realizar uma análise simplificada da eficiência para o modelo utilizado para o levantamento.

A metodologia desenvolvida considerou cada uso final de equipamentos para observar o consumo da carga residencial e suas variações ao longo do dia. No capítulo foram caracterizadas as principais cargas contribuintes e expostos os parâmetros empregados a fim de se obter os resultados. Além disso, estabelece-se o primeiro cenário de comparação, através do estudo de caso com o analisador de energia, que serviu de base para orientações do modelo. Em termos práticos, assumiu-se um padrão de comportamento para as residências dentre os quais foram validados através de testes de hipóteses comparativos num segundo cenário, no qual o consumo da residência foi mensurado através do histórico presente na fatura de energia.

O estudo permite entender o quanto cada uso final contribui para a demanda total de energia apesar da dificuldade em se estabelecer uma relação direta entre o desempenho, numa análise simplificada, relativa somente aos componentes predominantes na literatura. Ele reafirmou que a presença de aparelhos alternadores de temperatura, como chuveiro e ar condicionado representam uma porcentagem significativa no consumo, mas também que a junção dos aparelhos diversos fazem a diferença, principalmente em pequenas demandas.

Como continuidade do trabalho propõem-se modificações e adições de parâmetros para uma análise mais detalhada, pois estes se mostram os grandes limitantes desta dissertação. As alterações de temperatura tratando-se especialmente da sazonalidade, afetam diretamente os hábitos de consumo nas residências. Outra possível abordagem, é incorporar as questões de renda para identificar o potencial de mudança do comportamento de consumo elétrico do ponto de vista

dos usuários finais, visto que o potencial de crescimento do consumo elétrico no país cresce medida que a renda per capita da população aumenta, conforme esperado.

Outro ponto que poderá ser melhorado, é a vertente do um levantamento de potências atualizadas disponíveis para os equipamentos, uma vez que estes se mostraram com uma grande variação dentre as marcas e modelos interferindo diretamente no cálculo do consumo. Além disso, a abrangência ampla da literatura, na categoria de “equipamentos diversos” dificultou a exatidão de informações, sugere-se que seja feita uma discriminação e estudos mais avançados pelos órgãos reguladores ou tratativas individualizadas dos principais componentes desse grupo.

6. REFERÊNCIAS

ACHAO, C. da C. L., 2009. **Análise de Decomposição das Variações no Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ANEEL. **Lei 9.427** de 26 de Dezembro de 1996.

ANEEL. **Resolução n. 083**, de 20 de setembro de 2004.

ANEEL/ANP. **Eficiência Energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios**. Brasília, 1999

ARGHIRA, N.; HAWARAH, L.; PLOIX, S.; JACOMINO, M. **Prediction of appliances energy use in smart homes**. Energy, v. 48, n. 1, p. 128–134, 2012.

BALACHANDRA, P.; CHANDRU, V. **Modelling electricity demand with representative load curves**. Energy, v. 24, n. 3, p. 219–230, 1999.

BEZERRA, Paula Borges da Silveira. **Proposta metodológica para avaliação da demanda residencial de energia elétrica através do desenvolvimento de uma curva de carga horária**. 2017.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota técnica DEA 01/2015: Estimativa da capacidade instalada de geração distribuída no SIN: Aplicações no horário de ponta**. Ministério de Minas e Energia, EPE, 2015b.

EXTECH INSTRUMENTS CORPORATION. **User Manual Power and Harmonics Analyzer Model 382095**. Web site: instrumart.com/assets/382095_manual.pdf - Acesso: 11/2020

FERNANDES, Ana Eliza Pereira. As torres envidraçadas e o consumo energético. In: **Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído, 2; Encontro Latino-Americano Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis**, 1., 2001, Canela, RS, 2001, 8p.

INSTRUTEMP. **Instrumentos de Medição - Produtos analisador de energia**. Disponível em: <https://instrutemp.com.br/analizador-de-energia-qual-a-utilidade-desse-equipamento>. Acesso: 01/2021

MANSOURI, I., NEWBOROUGH, M., & PROBERT, D. (1996). **Energy consumption in UK households: Impact of domestic electrical appliances**. Applied Energy, 54(3), 211–285.

MARTINS, M. P. de S. **Inovação Tecnológica e Eficiência Energética**. 1999.

MEC. **Equipamentos elétricos e eletrônicos.2007.** Disponível em: <portal.mec.gov.br > arquivos > pdf > eletricos_eletronicos> Acesso em: 10/2020

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenharia.** 2003.

MORALES, Clayton. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MORISHITA, C., 2011. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro.** Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

MURATORI, M.; ROBERTS, M. C.; SIOSHANSI, R.; MARANO, V.; RIZZONI, G. **A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand.** Applied Energy, v. 107, p. 465–473, 2013.

Norma de Distribuição Unificada. NDU – 001. Revisão 6.2 - **Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações Individuais ou Agrupada até 3 Unidades Consumidoras -** Dezembro/2019.

OLIVEIRA, D. C. DE; MAÇAIRA, P. M.; OLIVEIRA, F. L. C. **Análise dos picos de demanda diária de energia elétrica via cadeias de Markov.** 2014.

PAATERO, J. V.; Lund, P. D. **A model for generating household electricity load profiles.** International Journal of Energy Research, v. 30, n. 5, p. 273–290, 2006.

PETRUZELLA, Frank. **Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne.** Bookman Editora, 2013.

PRADO, Paterson Anunciação. **Sistema de monitoramento remoto de consumo de energia elétrica em residências.** 2019.

PRADO, R. T. A.; GONÇALVES, M. **Water heating through electric shower and energy demand.** Energy and buildings, v. 29, p. 77–82, 1998.

PROCEL, ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso da classe residencial no ano base 2005.** Rio de Janeiro: Eletrobras Procel, 2007.

QUEIROZ, P. V. S. DE, 2011. **Mensuração do consumo de energia elétrica: algoritmo para detecção de potenciais usuários da termoacumulação como alternativa para o deslocamento de carga.** Dissertação de M.Sc. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BERALDO, Juliano Coronato; SAFT, Juliana Bechara; ABREU, Fábio Luiz de. **Estudo de viabilidade de um regulamento energético para o Estado de São Paulo.** In: NUTAU 2002, 7 p

SWAN, L. G.; UGURSAL, V. I. **Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 13, n. 8, p. 1819–1835, 2009.

TSO, G. K. F.; YAU, K. K. W. **A study of domestic energy usage patterns in Hong Kong.** *Energy*, v. 28, n. 15, p. 1671–1682, 2003.

WIDÉN, J.; WÄCKELGÅRD, E. **A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand.** *Applied Energy*, v. 87, n. 6, p. 1880–1892, 2010. Elsevier Ltd.

YAO R, STEEMERS K. **A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK.** *Energy and Buildings* 2005;37(6):663–71.