

Fernando Deluno Garcia

# **Medidor Cognitivo de Energia para Aplicações em Eficiência Energética**

Bauru - SP

2018



Fernando Deluno Garcia

## **Medidor Cognitivo de Energia para Aplicações em Eficiência Energética**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP para obtenção do título de mestre.

UNESP — UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão  
Coorientador: Prof. Dr. Wesley Angelino de Souza

Bauru - SP

2018

Garcia, Fernando Deluno.  
Medidor Cognitivo de Energia para Aplicações em  
Eficiência Energética / Fernando Deluno Garcia, 2018  
182 f.

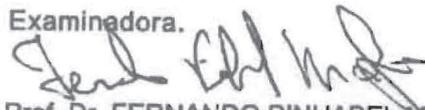
Orientador: Fernando Pinhabel Marafão

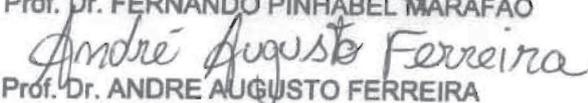
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2018

1. Desagregação do consumo. 2. Eficiência energética. 3. Medidor cognitivo de energia elétrica. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Medidor Cognitivo de Energia para Aplicações em Eficiência Energética.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FERNANDO DELUNO GARCIA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 08 dias do mês de fevereiro do ano de 2018, às 09:00 horas, no(a) Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba-UNESP, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFAO - Orientador(a) do(a) Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP, Prof. Dr. ANDRE AUGUSTO FERREIRA do(a) Departamento de Energia Elétrica / Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Prof. Dr. EDUARDO PACIÊNCIA GODOY do(a) Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FERNANDO DELUNO GARCIA, intitulada **DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA APLICADO NA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFAO

  
Prof. Dr. ANDRE AUGUSTO FERREIRA

  
Prof. Dr. EDUARDO PACIÊNCIA GODOY

**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO**

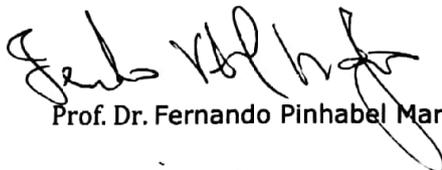
A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:  
**FERNANDO DELUNO GARCIA**

DE: "DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA APLICADO NA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA"

PARA:

Medidor Cognitivo de Energia para Aplicações em  
Eficiência Energética

Bauru, 08 de fevereiro de 2018.



Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafao

Orientador

# Agradecimentos

Muitos são os desafios enfrentados quando decidimos caminhar em direção ao novo, desconhecido. Parte desta jornada é constituída por experiências; a outra, pelas relações criadas e que nos fortalecem para continuar em busca dos objetivos almejados. Ao atingi-los, torna-se impossível não olhar para trás e sentir-se grato por todo apoio recebido.

Gostaria então de agradecer especialmente duas pessoas envolvidas diretamente no desenvolvimento deste trabalho. Primeiro, ao professor Fernando Pinhabel Marafão — orientador desta dissertação — que desde o início fez questão de dialogar e debater ideias, ampliando meu horizonte de expectativas e facilitando a condução do trabalho. Segundo, ao Wesley Angelino de Souza — coorientador desta dissertação — a quem sou extremamente grato por todo tempo dedicado e pelos conhecimentos compartilhados.

Não posso deixar de citar os amigos do GASI (Grupo de Automação e Sistemas Integráveis — UNESP Sorocaba) que também fizeram parte desta trajetória. Em especial, gostaria de agradecer ao Augusto Matheus dos Santos Alonso com quem tive a oportunidade de estudar durante esses anos de mestrado. Seu apoio também foi essencial para cumprimento deste trabalho.

Por fim, à FAPESP — processo 2016/08645-9 — pelo apoio financeiro e institucional ao projeto temático para Pesquisas Interdisciplinares em Redes Elétricas Inteligentes.



*“O homem erudito é um descobridor de fatos, que já existem — mas o homem bom é um criador de valores, que não existiam, e que ele faz existir.*

*Albert Einstein.*



# Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um medidor cognitivo de energia elétrica, enfatizando sua aplicação para avaliação da eficiência energética e consumo padrão de eletrodomésticos classificados pelo PROCEL e de acordo com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Para tal, é proposta uma metodologia de desagregação do consumo de energia que possibilita estimar o consumo individual de cada eletrodoméstico em uma residência. Os eletrodomésticos são classificados e identificados a partir de indicadores que caracterizam a operação de um equipamento, sendo calculados através das formas de onda de tensão e corrente e da Teoria de Potência Conservativa (CPT). Com isso, foi criada uma base de dados composta por indicadores de diversos eletrodomésticos para que se pudesse identificá-los a partir do algoritmo K-ésimo vizinho mais próximo (KNN). Tendo em vista o engajamento do consumidor residencial em relação aos seus hábitos de consumo, o trabalho proposto faz uso do medidor cognitivo de energia elétrica para fornecer recomendações e diagnósticos sobre os eletrodomésticos utilizados na residência. Por fim, o teste do protótipo possibilitou validar a metodologia proposta, estabelecendo um novo conceito e aplicação de medidores inteligentes de energia.

**Palavras-chave:** desagregação do consumo; eficiência energética; medidor cognitivo de energia elétrica.



# Abstract

This work presents the development of a cognitive energy meter, emphasizing its application to evaluate the energy efficiency and standard appliances consumption classified by PROCEL and according to the National Energy Efficiency Labeling. For this purpose, an energy consumption disaggregation methodology is proposed, which makes possible to estimate the individual consumption of each appliance in a house. Appliances are classified and identified by indicators that characterize the operation of an equipment, being calculated through voltage and current waveforms and by the Conservative Power Theory (CPT). Thus, a database composed of indicators of several household appliances was created so that they could be identified using the K-nth nearest neighbor (KNN) algorithm. Considering the engagement of the residential consumer in relation to their consumption habits, the proposed work makes the use of the cognitive energy meter to provide recommendations and diagnoses about the appliances used in the residence. Finally, the prototype validated the proposed methodology, establishing a new concept and application of smart energy meters.

**Keywords:** energy disaggregation; energy efficiency; cognitive energy meter.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Medidor de energia: eletromecânico e eletrônico. . . . .	37
Figura 2 – Infraestrutura de comunicação. . . . .	39
Figura 3 – Rede Inteligente de Energia - Adaptado. . . . .	40
Figura 4 – Módulos de um medidor digital de energia. . . . .	41
Figura 5 – Sistema de gerenciamento. . . . .	45
Figura 6 – Programas de etiquetagem no mundo. . . . .	49
Figura 7 – Etiqueta de certificação do Energy Star. . . . .	50
Figura 8 – Selo PROCEL de economia de energia. . . . .	51
Figura 9 – Curva de carga diária apresentada pelo SINPHA. . . . .	52
Figura 10 – Etiqueta de eficiência energética. . . . .	53
Figura 11 – Relação entre o consumo de energia elétrica por residência e o preço do kWh. . . . .	55
Figura 12 – Avaliação dos métodos de sugestões e recomendações. . . . .	61
Figura 13 – Identificação de equipamentos a partir da análise de eventos — variação de consumo. . . . .	67
Figura 14 – Etapas do método NILM. . . . .	67
Figura 15 – Diagrama da plataforma desenvolvida. . . . .	85
Figura 16 – Plataforma de Desenvolvimento. . . . .	86
Figura 17 – Pinos disponíveis para conexão. . . . .	87
Figura 18 – Placa para condicionamento dos sinais de tensão. . . . .	88
Figura 19 – Placa para condicionamento dos sinais de corrente - Sensores LA25-P. . . . .	88
Figura 20 – Circuito do conversor A/D. . . . .	89
Figura 21 – Conexão entre a PRU1 e o conversor AD. . . . .	90
Figura 22 – Leitura dos canais de conversão após a sinalização de uma amostra convertida. . . . .	90
Figura 23 – Fluxo de operações da PRU0. . . . .	91
Figura 24 – Fluxo de operações da PRU0. . . . .	92
Figura 25 – Fluxo de operações da aplicação principal. . . . .	93
Figura 26 – Conexão entre os elementos do sistema. . . . .	93
Figura 27 – Forma direta 2. . . . .	95
Figura 28 – Exemplo de classificação de uma amostra utilizando o algoritmo KNN. . . . .	96
Figura 29 – Padrões de consumo para diferentes cargas. . . . .	97
Figura 30 – Sistema supervisorio — Interface com o usuário. . . . .	102
Figura 31 – Consumo desagregado apresentado percentualmente. . . . .	102
Figura 32 – Consumo desagregado em kWh e tempo de uso dos eletrodomésticos. . . . .	103
Figura 33 – Supervisão do consumo das cargas de interesse. . . . .	103

Figura 34 – Variação do consumo de potência ativa. . . . .	104
Figura 35 – Classe 1: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	108
Figura 36 – Classe 2: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	109
Figura 37 – Classe 3: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	110
Figura 38 – Classe 4: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	111
Figura 39 – Classe 4: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	112
Figura 40 – Classe 5: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	113
Figura 41 – Classe 6: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	114
Figura 42 – Classe 7: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	116
Figura 43 – Classe 8: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	117
Figura 44 – Classe 9: Potência ativa média dos estados 1 e 2. . . . .	118
Figura 45 – Classe 9: Potência ativa média para o estado 3. . . . .	119
Figura 46 – Classe 10: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	120
Figura 47 – Classe 11: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	121
Figura 48 – Classe 12: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	122
Figura 49 – Classe 13: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	123
Figura 50 – Classe 14: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	124
Figura 51 – Classe 15: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	125
Figura 52 – Classe 16: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	126
Figura 53 – Classe 17: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	127
Figura 54 – Classe 18: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	128
Figura 55 – Classe 19: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente. . . . .	130
Figura 56 – Distribuição das cargas considerando potência e fator de potência. . . . .	131
Figura 57 – Distribuição das cargas considerando potência ativa e reativa. . . . .	131
Figura 58 – Fronteira de decisão das cargas de interesse. . . . .	132
Figura 59 – Monitoramento da geladeira. . . . .	133
Figura 60 – Monitoramento do micro-ondas na potência média. . . . .	133
Figura 61 – Oscilações da potência ativa durante a operação do micro-ondas. . . . .	133
Figura 62 – Monitoramento de duas cargas. . . . .	134
Figura 63 – Monitoramento de três cargas. . . . .	134
Figura 64 – Avaliação de sub-classes: Geladeira. . . . .	135
Figura 65 – Geladeira ligada. . . . .	135
Figura 66 – Geladeira e Micro-ondas ligados. . . . .	136
Figura 67 – Diferença entre formas de onda da corrente - Micro-ondas gerou evento. . . . .	136
Figura 68 – Exemplo de classificação de carga. . . . .	137
Figura 69 – Exemplo de classificação de carga. . . . .	137
Figura 70 – Exemplo de classificação de carga. . . . .	138
Figura 71 – Exemplo de classificação de carga. . . . .	138
Figura 72 – Desagregação de consumo. . . . .	139

Figura 73 – Desagregação de consumo. . . . .	140
Figura 74 – Potência Ativa Média (W) - Teste de 24 horas. . . . .	140
Figura 75 – Momentos em que o sistema de degelo é ativado - Teste de 24 horas. . . . .	141
Figura 76 – Consumo da geladeira. . . . .	142
Figura 77 – Consumo padrão — Potência Ativa (W) x Horário. . . . .	143
Figura 78 – Desagregação de consumo. . . . .	143
Figura 79 – Sugestões e recomendações: Geladeira. . . . .	144
Figura 80 – Oscilograma — Partida Fria. . . . .	145
Figura 81 – Potência ativa média — Micro-ondas em condições diferentes de operação. . . . .	145
Figura 82 – Selo dos aparelhos de micro-ondas analisados. . . . .	146
Figura 83 – Sugestões e recomendações: Micro-ondas. . . . .	148
Figura 84 – Potência ativa média - Ar condicionado. . . . .	148
Figura 85 – Potência ativa média - Micro-ondas em condições diferentes de operação. . . . .	149
Figura 86 – Potência ativa média - Ar condicionado split. . . . .	150
Figura 87 – Acionamento - Ar condicionado inverter. . . . .	151
Figura 88 – Potência ativa média - Ar condicionado inverter. . . . .	151
Figura 89 – Sugestões e recomendações: Ar condicionado. . . . .	153



# Lista de tabelas

Tabela 1 – Condicionador de ar - Janela. Fonte: (MDIC, 2013) . . . . .	57
Tabela 2 – Condicionares de ar - Split Cassete, HI-WALL e Piso-Teto. Fonte: (MDIC, 2013) . . . . .	57
Tabela 3 – Equipamentos que utilizam R141b como agente de expansão das espumas.	58
Tabela 4 – Congeladores que utilizam R141b como agente de expansão das espumas.	58
Tabela 5 – Equipamentos que utilizam Ciclopentano como agente de expansão das espumas. . . . .	59
Tabela 6 – Congeladores que utilizam Ciclopentano como agente de expansão das espumas. . . . .	59
Tabela 7 – Níveis máximos de consumo para refrigeradores e congeladores frost-free.	59
Tabela 8 – Níveis máximos de consumo para refrigeradores e congeladores. . . . .	59
Tabela 9 – Índices de eficiência energética para micro-ondas. . . . .	60
Tabela 10 – Coeficientes da reta do consumo padrão (2005). . . . .	81
Tabela 11 – Classificação do refrigerador em número de estrelas. . . . .	82
Tabela 12 – Classe 1: Potência Ativa e Fator de Potência - Compressor ligado. . . . .	107
Tabela 13 – Classe 1: Fator de reatividade e não linearidade - Compressor ligado. . . . .	108
Tabela 14 – Classe 1: Potência Ativa e Fator de Potência - Sistema de degelo. . . . .	108
Tabela 15 – Classe 1: Fator de reatividade e não linearidade - Sistema de degelo. . . . .	109
Tabela 16 – Classe 2: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	109
Tabela 17 – Classe 2: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	110
Tabela 18 – Classe 3: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	110
Tabela 19 – Classe 3: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	110
Tabela 20 – Classe 4: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	112
Tabela 21 – Classe 4: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	112
Tabela 22 – Classe 5: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	113
Tabela 23 – Classe 5: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	114
Tabela 24 – Classe 6: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	115
Tabela 25 – Classe 6: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	115
Tabela 26 – Classe 7: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	115
Tabela 27 – Classe 7: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	115
Tabela 28 – Classe 8: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	117
Tabela 29 – Classe 8: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	117
Tabela 30 – Classe 9: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	117
Tabela 31 – Classe 9: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	118
Tabela 32 – Classe 10: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	119
Tabela 33 – Classe 10: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	119

Tabela 34 – Classe 11: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	121
Tabela 35 – Classe 11: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	121
Tabela 36 – Classe 12: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	122
Tabela 37 – Classe 12: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	122
Tabela 38 – Classe 13: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	123
Tabela 39 – Classe 13: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	123
Tabela 40 – Classe 14: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	124
Tabela 41 – Classe 14: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	125
Tabela 42 – Classe 15: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	125
Tabela 43 – Classe 15: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	125
Tabela 44 – Classe 16: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	126
Tabela 45 – Classe 16: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	126
Tabela 46 – Classe 17: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	127
Tabela 47 – Classe 17: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	127
Tabela 48 – Classe 18: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	129
Tabela 49 – Classe 18: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	129
Tabela 50 – Classe 19: Potência Ativa e Fator de Potência. . . . .	129
Tabela 51 – Classe 19: Fator de reatividade e não linearidade. . . . .	129

# Lista de abreviaturas e siglas

AD	Analógico—Digital
AFE	Analog Front End Metrology chip
ALM	Appliance Load Monitoring
AMI	Advanced Metering Infrastructure
AMR	Automatic Meter Reading
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BBB	Beagle Bone Black
BPL	Broadband over Power Lines
CEE	Coefficiente de Eficiência Energética
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
CLASP	Collaborative Labeling and Appliance Standards Program
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e Gás Natural
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CPT	Conservative Power Theory
CS	Chip Select
DFT	Discret Fourier Transform
DIN	Data Input
DOE	Department of Energy (Estados Unidos)
DOUT	Data Output
DRDY	Data Ready
DSP	Digital Signal Processor
DT	Decision Tree
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPA	Environmental Protection Agency (Estados Unidos)
FEEC	Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
FFT	Fast Fourier Transform
GASI	Grupo de Automação e de Sistemas Integráveis
GPRS	General Packet Radio Service
HAN	Home Area Network
HMM	Hidden Markov Models
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
IGSD	Institute for Governance and Sustainable Development
IHD	in-home display
ILM	Intrusive Load Monitoring
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KNN	K-Nearest Neighbor
LCD	Liquid-crystal display
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MEPS	Minimum Energy Performance Standards
MISO	Master Input Slave Output
MLP	Multilayer Perceptron
MME	Ministério de Minas e Energia
MOSI	Master Output Slave Input
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
NILM	Non-intrusive Load Monitoring
NN	Neural Network
OPF	Optimum Path Forest

PAC	Ponto de Acoplamento Comum
PAN	Personal Area Network
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
PLC	Power Line Communication
PNE2030	Plano Nacional de Energia para 2030
PPE2020	Plano Paulista de Energia para 2020
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRU	Programmable Real Time Unit
RF	Rádio frequência
RTC	relógio de tempo real
RTQ	Regulamento Técnico da Qualidade
SCLK	Serial Clock
SINPHA	Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos
SMS	Smart Metering Systems
SOC	System-On-Chip
SVM	Support Vector Machine
WEB	World Wide Web
WMAN	Wireless Metropolitan Access Network



# Lista de símbolos

$A$	Potência aparente
$AV$	Volume ajustado
$B_\mu$	Reatividade equivalente da fase
$C$	Consumo declarado
$Cp$	Consumo padrão
$D$	Potência residual
$EF$	Efeito térmico
$f$	Frequência do sistema elétrico
$G_\mu$	Condutância equivalente da fase
$G^b$	Condutância equivalente balanceada de todas as fases
$\underline{i}$	Vetor das correntes instantâneas das fases
$i_\mu$	Corrente instantânea de fase
$i_{a\mu}$	Corrente ativa de fase
$\underline{i}_{a\mu}^b$	Corrente ativa balanceada instantânea de fase
$\underline{i}_{a\mu}^u$	Corrente ativa desbalanceada instantânea de fase
$\underline{i}_a^b$	Corrente ativa balanceada
$\underline{i}_a^u$	Corrente ativa desbalanceada
$\underline{I}_a^b$	Corrente ativa balanceada eficaz
$\underline{I}_a^u$	Corrente ativa desbalanceada eficaz
$i_u$	Corrente de desbalanço
$i_{r\mu}$	Corrente reativa de fase
$\underline{i}_{r\mu}^b$	Corrente reativa balanceada instantânea de fase
$\underline{i}_{r\mu}^u$	Corrente reativa desbalanceada instantânea de fase

$i_v$	Corrente residual
$\underline{i}_r^b$	Corrente reativa balanceada
$\underline{i}_r^u$	Corrente reativa desbalanceada
$\underline{I}_r^b$	Corrente reativa balanceada eficaz
$\underline{I}_r^u$	Corrente reativa desbalanceada eficaz
$i_d$	Corrente residual
$I_d$	Corrente residual eficaz
$I_e$	Índice de eficiência energética
$N$	Potência de desbalanço
$N_a$	Potência ativa de desbalanço
$N_u$	Potência reativa de desbalanço
$p$	Potência ativa instantânea
$p(t)$	Potência ativa instantânea
$P$	Potência ativa média
$P_\mu$	Potência ativa média por fase
$Q$	Potência reativa média
$t$	Tempo
$T$	Tempo de ciclo (inverso da frequência)
$\underline{v}$	Vetor das tensões instantâneas das fases
$v_\mu$	Tensão instantânea de fase
$\hat{v}$	Integral imparcial instantânea das tensões
$\hat{v}_\mu$	Integral imparcial instantânea da tensão de fase
$\underline{\hat{v}}$	Vetor da integral imparcial das tensões
$V_c$	Volume do congelador em litros
$V_r$	Volume do refrigerador em litros
$w$	Energia reativa instantânea

$w(t)$	Energia reativa instantânea
$W$	Energia reativa média
$W_\mu$	Energia reativa média por fase
$W_c$	Potência nominal em Watts
$\bar{x}$	Valor médio de uma variável
$x_f(t)$	Integral no tempo da variável $x(t)$
$\hat{x}(t)$	Integral imparcial de $x(t)$
$\lambda$	Fator de Potência
$\lambda_d$	Fator de não-linearidade
$\lambda_Q$	Fator de Reatividade
$\lambda_U$	Fator de Assimetria
$\omega$	Frequência angular $2\pi f$



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>31</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b>	<b>31</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b>	<b>32</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa e objetivos</b>	<b>33</b>
<b>1.4</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>35</b>
<b>2</b>	<b>MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGIA</b>	<b>37</b>
<b>2.1</b>	<b>Caracterização do medidor digital</b>	<b>40</b>
2.1.1	Sensoriamento, condicionamento e digitalização de sinais	42
2.1.2	Unidade de processamento	42
2.1.3	Memória de armazenamento em massa	42
2.1.4	Interface de comunicação	42
2.1.5	Interface homem-máquina	43
<b>2.2</b>	<b>Considerações sobre o medidor digital</b>	<b>43</b>
<b>2.3</b>	<b>Medidores Cognitivos de Energia: Perspectivas e Tendências</b>	<b>44</b>
<b>2.4</b>	<b>Conclusões parciais</b>	<b>45</b>
<b>3</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Consumo eficiente de energia elétrica</b>	<b>47</b>
<b>3.2</b>	<b>Programas de eficiência energética</b>	<b>48</b>
3.2.1	Panorama mundial	48
3.2.1.1	Minimum Energy Performance Standard	49
3.2.1.2	Energy Star	49
3.2.1.3	Collaborative Labeling and Appliance Standards Program	50
3.2.2	Ações de eficiência energética no Brasil	50
3.2.2.1	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	50
3.2.2.2	Programa Brasileiro de Etiquetagem	53
3.2.2.3	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e Gás Natural	54
3.2.2.4	Lei de Eficiência Energética	54
3.2.2.5	Plano Paulista de Energia	54
<b>3.3</b>	<b>Eficiência energética nas residências</b>	<b>54</b>
3.3.1	Consumo energético na climatização	56
3.3.2	Consumo energético nos equipamentos de refrigeração	58
3.3.3	Consumo energético nos fornos de micro-ondas	60
<b>3.4</b>	<b>Aplicação de medidores cognitivos</b>	<b>61</b>

<b>3.5</b>	<b>Conclusões Parciais</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>TÉCNICAS APLICADAS E METODOLOGIA PROPOSTA</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Reconhecimento de cargas residenciais</b>	<b>65</b>
4.1.1	Assinatura de potência	65
4.1.2	Categorização das técnicas de monitoramento	66
4.1.2.1	Abordagem intrusiva ou distribuída - ILM	66
4.1.2.2	Abordagem não intrusiva ou concentrada - NILM	67
4.1.2.3	Abordagem semi intrusiva ou semi distribuída - SILM	68
4.1.2.4	Considerações sobre a abordagem NILM	68
<b>4.2</b>	<b>Teoria de potência conservativa</b>	<b>69</b>
4.2.1	Potência e Energia	71
4.2.2	Decomposição da corrente de fase	73
4.2.3	Decomposição da potência do sistema	75
4.2.4	Caracterização de cargas	77
<b>4.3</b>	<b>Metodologia proposta</b>	<b>78</b>
4.3.1	Cargas residenciais de interesse	80
4.3.1.1	Geladeiras	80
4.3.1.2	Condicionadores de ar	82
4.3.1.3	Micro-ondas	82
4.3.1.4	Considerações sobre os indicadores	83
<b>4.4</b>	<b>Conclusões Parciais</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DE MEDIDOR COGNITIVO RESIDENCIAL</b>	<b>85</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização do sistema</b>	<b>85</b>
<b>5.2</b>	<b>Descrição dos elementos de hardware</b>	<b>85</b>
5.2.1	Plataforma de desenvolvimento	85
5.2.2	Condicionamento dos sinais analógicos	87
5.2.3	Conversor analógico/digital	88
<b>5.3</b>	<b>Aquisição de dados</b>	<b>89</b>
<b>5.4</b>	<b>Algoritmos implementados</b>	<b>94</b>
5.4.1	Procedimento de cálculo da CPT	94
5.4.2	Algoritmo de Goertzel	94
5.4.3	Algoritmo de classificação KNN	95
5.4.4	Monitoramento de cargas	97
5.4.5	Desagregação do consumo de energia	101
<b>5.5</b>	<b>Sistema supervisório</b>	<b>101</b>
<b>5.6</b>	<b>Conclusões Parciais</b>	<b>104</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>107</b>

<b>6.1</b>	<b>Coleta de dados</b>	<b>107</b>
6.1.1	Classe 1: Geladeira	107
6.1.2	Classe 2: Micro-ondas	109
6.1.3	Classe 3: Purificador de água	110
6.1.4	Classe 4: Notebook	111
6.1.5	Classe 5: Aparelho de som	113
6.1.6	Classe 6: Televisão LED	114
6.1.7	Classe 7: Liquidificador	115
6.1.8	Classe 8: Televisão LCD	116
6.1.9	Classe 9: Máquina de lavar roupas	117
6.1.10	Classe 10: Secador de cabelos	119
6.1.11	Classe 11: Lâmpada Fluorescente	120
6.1.12	Classe 12: Computador de mesa	121
6.1.13	Classe 13: Forno Elétrico	122
6.1.14	Classe 14: Monitor LCD-LED-Tubo	123
6.1.15	Classe 15: Lâmpada LED	125
6.1.16	Classe 16: Ferro de Passar Roupa	126
6.1.17	Classe 17: Lâmpada Incandescente	126
6.1.18	Classe 18: Fritadeira Elétrica	128
6.1.19	Classe 19: Ar condicionado	129
<b>6.2</b>	<b>Formação da base de dados</b>	<b>130</b>
<b>6.3</b>	<b>Metodologia para o monitoramento e classificação de cargas</b>	<b>132</b>
6.3.1	Avaliação da metodologia e atualização da base de dados	134
6.3.2	Reconhecimento dos eletrodomésticos	135
<b>6.4</b>	<b>Desagregação do consumo</b>	<b>139</b>
<b>6.5</b>	<b>Avaliação do consumo de energia</b>	<b>140</b>
6.5.1	Geladeiras	140
6.5.1.1	Avaliação do consumo da geladeira	141
6.5.1.2	Sugestões e recomendações	144
6.5.2	Micro-ondas	144
6.5.2.1	Avaliação do consumo do micro-ondas	146
6.5.2.2	Sugestões e recomendações	147
6.5.3	Condicionadores de ar	148
6.5.3.1	Avaliação do consumo do ar condicionado split	149
6.5.3.2	Estudo de caso: ar condicionado split inverter	150
6.5.3.3	Sugestões e recomendações	152
<b>6.6</b>	<b>Conclusões Parciais</b>	<b>153</b>
<b>6.7</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>154</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>157</b>

7.1	Contribuições . . . . .	158
7.2	Trabalhos futuros . . . . .	158
	REFERÊNCIAS . . . . .	161
	<b>APÊNDICES</b>	<b>169</b>
	APÊNDICE A – PROTÓTIPO DO MEDIDOR. . . . .	171
	<b>ANEXOS</b>	<b>173</b>
	ANEXO A – CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO. . . . .	175

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

Energia elétrica é considerada um bem fundamental para sociedade moderna (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015). Nesse sentido, o crescimento global da demanda por energia traz à tona questões relacionadas com o impacto ambiental, social e econômico. Como consequência disso, há uma crescente busca por alternativas que resultem em ações concretas para utilização da energia de maneira eficiente, atendendo as necessidades atuais, e promovendo o desenvolvimento sustentável (IEA, 2013). Assim, para o gerenciamento do uso de energia, os medidores de energia elétrica são necessários tanto para as concessionárias quanto para os consumidores. Nesse cenário, o medidor de energia é considerado um dos pilares da infraestrutura de um sistema elétrico (EPRI, 2010).

Uma abordagem para atender as necessidades atuais de melhor gestão e uso eficiente de energia elétrica é a criação das Redes Inteligentes de Energia (do inglês, Smart Grids) e da infraestrutura de medição inteligente (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015). Nesse contexto, há um grande interesse em desenvolver tecnologias que possibilitem os consumidores residenciais a se conscientizarem em relação aos seus hábitos de consumo e ao uso racional desse recurso (WERANGA; CHANDIMA; KUMARAWADU, 2012). Diante disso, novos medidores de energia elétrica vem sendo desenvolvidos para prover informações detalhadas sobre o consumo de energia elétrica em comparação aos medidores tradicionais. Tais dispositivos são conhecidos como medidores inteligentes de energia (do inglês, smart energy meters) e possibilitam maior exatidão de medição, capacidade de armazenamento, envio automático de informações de consumo e integração com sistemas de gerenciamento de energia (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015; OPRIS; CARACASIAN, 2013b; ZHENG; GAO; LIN, 2013). Dos medidores inteligentes, destacam-se as seguintes características (ZHENG; GAO; LIN, 2013):

- Qualidade e clareza das informações coletadas;
- Disponibilização de informações que impactem diretamente sob o comportamento do consumidor;
- Possibilidade de consulta dos consumos anteriores, ou ainda das médias de consumo;
- Previsões baseadas no histórico comportamental da residência e também da região onde está localizado;
- Controle dos gastos.

Atualmente, um dos principais temas destacados na literatura é a utilização dos medidores inteligentes de energia para realizar a desagregação do consumo por cargas (XU; MILANOVIĆ, 2015). Tal função também é destacada como um aprimoramento dos medidores inteligentes, denominado medidor cognitivo de energia (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013; MAKONIN et al., 2013).

Do dicionário Michaelis, a palavra cognitivo é um adjetivo que se refere à cognição ou ao conhecimento; na psicologia, cita-se de estados ou processos que se relacionam à identificação de um conhecimento dedutível e à solução de tarefas e problemas específicos; na linguística, refere-se ao processo mental de percepção, juízo, memória e raciocínio. A partir dessas definições pode-se dizer que a cognição está relacionada com a acumulação de informações adquiridas a partir da experiência e dos conhecimentos obtidos a partir dessas experiências. Já no ramo da computação, embora não haja consenso sobre uma definição da computação cognitiva, pode-se considerar que é a computação aplicada à geração de conhecimento a partir da interpretação e extração — experiência — de significado dos dados (VARGA; ROTTA, 2018).

Destacado o significado, entre as principais aplicações dos medidores cognitivos destacam-se: o monitoramento do consumo de energia no ambiente residencial e a criação de mecanismos que possibilitem os consumidores entenderem seus hábitos de consumo e reduzirem gastos com energia elétrica (MAKONIN et al., 2013; WERANGA; CHANDIMA; KUMARAWADU, 2012).

Assim, esse trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento de um medidor cognitivo de energia elétrica para ser utilizado no contexto residencial, enfatizando sua aplicação em questões relacionadas à eficiência energética de eletrodomésticos. Para tal, as informações de consumo padrão indicadas na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) serão utilizadas para comparação do consumo medido pelo sistema desenvolvido.

## 1.2 Motivação

Com o crescimento de demanda por energia elétrica, principalmente nas áreas urbanas, novas abordagens têm sido propostas para tornar os sistemas de energia mais eficientes (IEA, 2013). Nesse contexto, em muitos países, os medidores de energia tradicionais têm sido substituídos pelos medidores de energia inteligentes (OPRIS; CARACASIAN, 2013a).

Com o avanço da eletrônica e das tecnologias de comunicação, tais dispositivos passaram por diversas modificações em um curto período. Como consequência disso, nenhuma tecnologia foi totalmente consolidada. Contudo, a capacidade de coletar informações de consumo em tempo real vem alterando a forma de como os sistemas de energia tradicionais são estruturados, isto é, a integração entre os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica tem aumentado conforme o avanço da tecnologia

(OPRIS; CARACASIAN, 2013a). Isso possibilita a melhor gestão e controle do uso de energia elétrica, tendo como objetivo o aumento da eficiência energética e a redução da emissão de gases que provocam o efeito estufa. Nesse cenário, os medidores inteligentes são essenciais para obter informações detalhadas sobre o consumo de energia elétrica (OPRIS; CARACASIAN, 2013b; ZHOU; XU; MA, 2010).

No contexto residencial, os consumidores podem se beneficiar em diversos sentidos, pois com informações detalhadas de consumo poderão estimar seus gastos com energia elétrica, receber informações que levem ao conhecimento de seus hábitos de consumo e ao gerenciamento do próprio consumo de energia elétrica (MAKONIN et al., 2013; WERANGA; CHANDIMA; KUMARAWADU, 2012; ZHOU; XU; MA, 2010).

Além disso, a capacidade de receber informações possibilita a criação de programas de conscientização que podem reduzir o consumo de energia a partir da interação criada com o consumidor (MAKONIN et al., 2013).

### 1.3 Justificativa e objetivos

As Redes Elétricas Inteligentes constituem hoje um tema amplamente discutido em todo o mundo, com objetivo de desenvolver técnicas, produtos e padrões que permitam monitorar e gerenciar o fluxo de energia de forma eficaz, nos sistemas de energia modernos. Assim, o desenvolvimento tecnológico é necessário para criar soluções que resultem na redução e melhor uso da energia. No contexto residencial, uma das soluções que podem ser adotadas é a utilização de dispositivos que permitam monitorar o consumo de energia. Com a substituição dos medidores convencionais para os chamados medidores inteligentes isso se torna possível (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013).

Diante disso, o desenvolvimento de tecnologias para medição de energia elétrica têm sido impulsionado devido às necessidades latentes de melhoria de gestão e eficiência da medição de energia. No entanto, a organização da rede deve ser repensada, tendo como iniciativa e tendência o desenvolvimento de projetos de infraestrutura de medição inteligente. À vista disso, os medidores inteligentes são os elementos base para construção de uma rede elétrica inteligente (CGEE, 2013). Além dos indicadores de consumo, os dados coletados pelos medidores contêm várias informações úteis, sendo uma delas o acompanhamento do consumo e dos estados dos eletrodomésticos conectados à rede elétrica (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013).

Nesse contexto, a aplicação dos medidores inteligentes de energia é vista como essencial para que os consumidores possam se conscientizar em relação ao seu próprio consumo de energia. Assim, a utilização de medidores inteligentes pode trazer diversos benefícios ao consumidor residencial, incluindo a redução de gastos, melhor qualidade de serviço das concessionárias e até novos modelos de tarifação (WERANGA; CHANDIMA;

KUMARAWADU, 2012).

As ações voltadas à eficiência energética tem grande potencial para criar equipamentos e serviços que favoreçam consumidores e concessionárias. De modo geral, a sociedade inteira é beneficiada, pois consumidores podem se conscientizar em relação aos seus hábitos de consumo e fazer o uso racional de energia elétrica (LEIVA; PALACIOS; AGUADO, 2016). À vista disso, informações detalhadas e em tempo real sobre consumo de energia elétrica podem auxiliar na criação de técnicas e políticas que aumentem a eficiência energética (BARKER et al., 2014).

Nesse contexto, a aplicação de técnicas para realizar análise e desagregação do consumo de cargas tem ganhado atenção significativa (XU; MILANOVIĆ, 2015), principalmente no setor residencial. Com a utilização dessa técnica de desagregação o conceito de medidor inteligente pode ser redefinido, sendo chamado de medidor cognitivo (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013). Com isso, o próprio medidor de energia pode ser utilizado como ferramenta para fornecer sugestões de consumo com base em informações extraídas pelo monitoramento de cargas e do conhecimento de hábitos dos consumidores (MAKONIN et al., 2013; BARKER et al., 2014).

Considerando os temas destacados, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um medidor cognitivo de energia elétrica, tendo em vista sua aplicação no monitoramento de cargas residenciais de interesse. Essa característica pode ser obtida a partir do método chamado monitoramento de cargas não intrusivo, o qual faz uso de um sistema de monitoramento concentrado em apenas um ponto de medição (PAC — Ponto de Acoplamento Comum), e de técnicas para reconhecimento de padrões das assinaturas de potência dos eletrodomésticos. Diante disso, a decomposição da potência elétrica em diversas subcomponentes possibilita análise detalhada da carga. Uma metodologia é conhecida como Teoria de Potência Conservativa (CPT – Conservative Power Theory) (PAREDES, 2011), (TENTI; MATTAVELLI, 2003).

A proposta dessa dissertação se apoia no trabalho realizado por Souza (SOUZA, 2016) que contribuiu com a criação de um sistema de monitoramento não intrusivo, além de analisar diversas técnicas de reconhecimento de padrões aplicadas para classificação de cargas residenciais. Tal proposta constitui um sistema voltado ao consumidor residencial, enfatizando a aplicação de um sistema de supervisão do consumo de energia elétrica.

Considerando os resultados obtidos e o modelo conceitual de medidor cognitivo desenvolvido por Souza (SOUZA, 2016), o principal objetivo deste trabalho é desenvolver e utilizar um medidor cognitivo de energia para avaliação de eficiência energética de cargas residenciais.

Assim, a principal contribuição dessa dissertação é o desenvolvimento de metodologias que permitem discriminar o consumo energético individual de eletrodomésticos, com

intuito de verificar se essas operam dentro dos padrões de eficiência energética definidos na ENCE. Além disso, o medidor cognitivo será utilizado para apresentar informações detalhadas relacionadas ao consumo de energia e indicadores de eficiência energética. À vista disso, foram escolhidas três cargas principais, considerando o impacto no consumo de energia residencial: geladeiras, aparelhos de micro-ondas e condicionadores de ar.

## 1.4 Organização do trabalho

Este primeiro capítulo apresentou uma breve contextualização do trabalho, destacando as motivações e objetivos do seu desenvolvimento. As definições dos conceitos apresentados são detalhadas nos capítulos seguintes.

No segundo capítulo é apresentado um panorama sobre a medição de energia elétrica, destacando a evolução dos instrumentos utilizados, bem como as perspectivas e tendências no cenário das Redes Inteligentes de Energia. Além disso, o instrumento de medição é caracterizado, enfatizando suas características construtivas e tecnologias utilizadas.

O terceiro capítulo é estruturado para conceituar eficiência energética. Assim, é destacada a importância do consumo de energia elétrica de maneira eficiente e os principais programas voltados a eficiência energética. Tais programas são apresentados em nível mundial e, posteriormente, são apresentadas as ações realizadas no Brasil com ênfase no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Diante disso, a aplicação de medidores inteligentes de energia é apresentada como ferramenta necessária para informar e conscientizar o consumidor em relação aos seus hábitos de consumo de energia elétrica.

No quarto capítulo são apresentadas as técnicas de reconhecimento de equipamentos (ou cargas residenciais), enfatizando a abordagem não intrusiva. Além disso, esse capítulo descreve as definições recentes da Teoria de Potência Conservativa, a qual permite o cálculo de componentes de corrente e potência diretamente relacionadas ao comportamento dos circuitos elétricos em condições de operação senoidais ou não senoidais, simétricas ou assimétricas. Essas duas subseções foram organizadas para apresentar a metodologia de reconhecimento de cargas proposta nesse trabalho, bem como as características de operação das cargas de interesse.

A plataforma de hardware desenvolvida é caracterizada no quinto capítulo. Nesse capítulo também são apresentados os algoritmos utilizados em todas as etapas de operação: Aquisição de dados, processamento de dados, sistema de reconhecimento de cargas e desagregação de consumo.

Os resultados e a discussão em relação as informações obtidas são apresentadas no capítulo 6. Assim, o capítulo descreve o procedimento experimental elaborado para coletar

as informações e os procedimentos de teste aplicados.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões da dissertação e a proposta para futuros trabalhos.

## 2 Medidores Inteligentes de Energia

Ainda comum em muitos países, os medidores de energia elétrica que possuem sistema eletromecânico, com tecnologia desenvolvida a partir de 1880, têm capacidade de registrar apenas energia ativa (SHARMA; SAINI, 2015). Os medidores eletromecânicos possuem mecanismos simples, alta durabilidade, boa exatidão e custo benefício.

Nitidamente, a adoção de novos medidores não ocorreu devido a essas características, e sim pela necessidade de novas funcionalidades, principalmente aquelas relacionadas à comunicação e informações detalhadas sobre o consumo de energia elétrica no ponto de medição (EPRI, 2010). Isso foi impulsionado devido ao avanço da eletrônica.

Na década de 1990, surgiram os primeiros medidores que utilizavam unidade central de processamento (microprocessador ou microcontrolador) e circuitos conversores de sinais analógicos. Com isso, os medidores eletrônicos tornaram-se mais confiáveis em relação aos medidores eletromecânicos. Posteriormente, os medidores de energia tiveram suas funcionalidades aumentadas devido aos avanços das tecnologias de comunicação, eletrônica e instrumentação. Com essas características, mais informações podiam ser armazenadas além do valor de energia ativa (SHARMA; SAINI, 2015).

Na Figura 1 é mostrado um modelo de medidor eletrônico e outro eletromecânico.

Figura 1 – Medidor de energia: eletromecânico e eletrônico.



Fonte: [www.analog.com](http://www.analog.com)

Da mesma maneira, a infraestrutura de muitos sistemas passaram por rápidas transições ao passo das tecnologias emergentes. De fato, em muitos países prevalece a medição manual dos medidores de energia e, de modo geral, esse registro é realizado mensalmente e envolve uma série de dificuldades como o acesso ao local e também ao medidor. Tais dificuldades foram amenizadas com a adoção de medidores eletrônicos, de

modo que os registros podem ser transmitidos para um receptor. Na literatura, os modelos de infraestrutura de medição são classificados da seguinte maneira: Sistemas de Leitura Automática (do inglês, AMR — Automatic Meter Reading), Sistemas com Infraestrutura de Medição Avançada (do inglês, AMI — Advanced Metering Infrastructure) e Sistemas de Medição Inteligente (do inglês, SMS — Smart Metering Systems) (OPRIS; CARACASIAN, 2013a).

A transmissão de dados foi adotada primeiramente nas indústrias e possibilitou o avanço da tecnologia que resultou num sistema de medição automático chamado de AMR. O AMR é caracterizado pela coleta de informações de modo remoto, isto é, as concessionárias conseguem obter os registros de consumo das unidades consumidoras a partir de uma infraestrutura de comunicação (ZIVIC; UR-REHMAN; RULAND, 2015). No AMR o consumo de energia pode ser verificado anualmente, mensalmente, semanalmente, diariamente ou em intervalo de horas (FOUDEH; MOKHTAR, 2015). Isso permite que as concessionárias colem informações com maior frequência, possibilitando o cálculo do consumo de energia acurado (FOUDEH; MOKHTAR, 2015).

Posteriormente, esse sistema foi aprimorado e denominado AMI, possibilitando a comunicação bidirecional entre as unidades consumidoras e as concessionárias (ZIVIC; UR-REHMAN; RULAND, 2015). Essa infraestrutura é ilustrada na Figura 2.

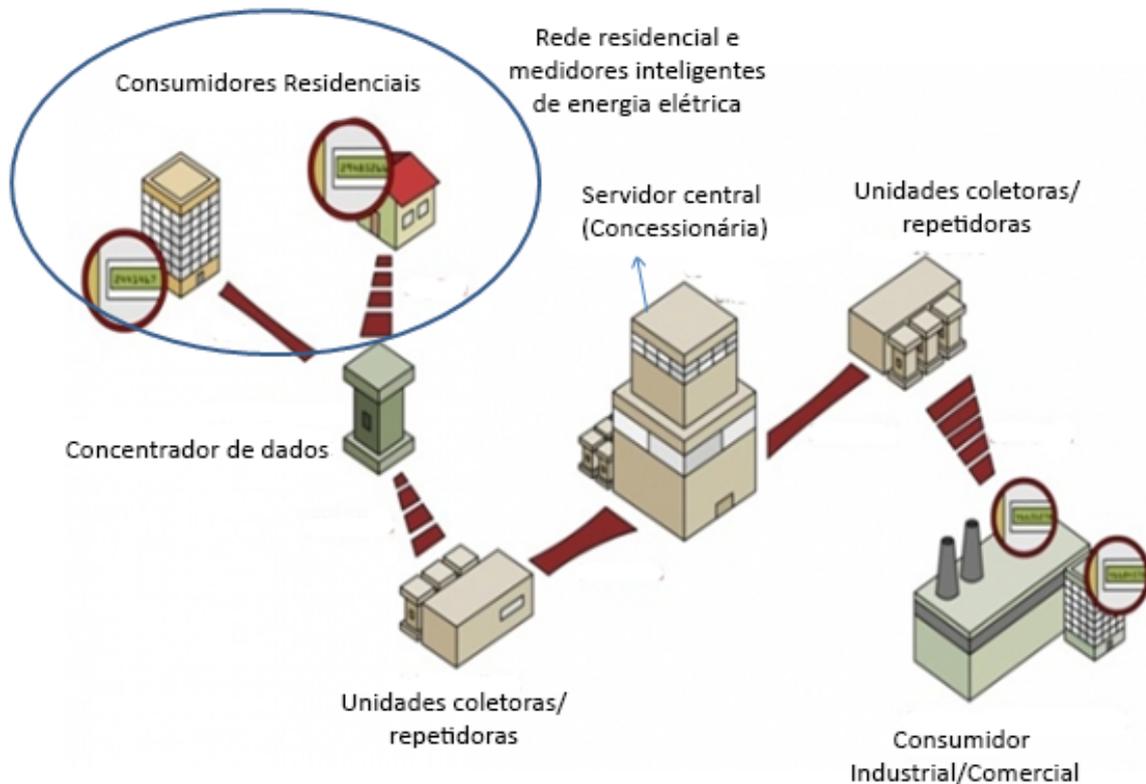
De modo geral, tais infraestruturas possibilitam (FOUDEH; MOKHTAR, 2015):

- Coletar informações remotamente;
- Criar novos modelos de tarifação;
- Medir a qualidade de energia;
- Conectar/desconectar a unidade consumidora da rede elétrica;
- Melhorar o planejamento e gerenciamento do sistema;
- Detectar falta de energia;
- Localizar e identificar falhas na rede elétrica;
- Criar um canal de comunicação entre o consumidor e a concessionária.

Os principais elementos dos sistemas AMR/AMI são descritos a seguir (FOUDEH; MOKHTAR, 2015):

- Medidores eletrônicos: Realizam as medições de energia elétrica das unidades consumidoras e possuem interface de comunicação bidirecional. Esses dados são coletados periodicamente e enviados para as concessionárias;

Figura 2 – Infraestrutura de comunicação.



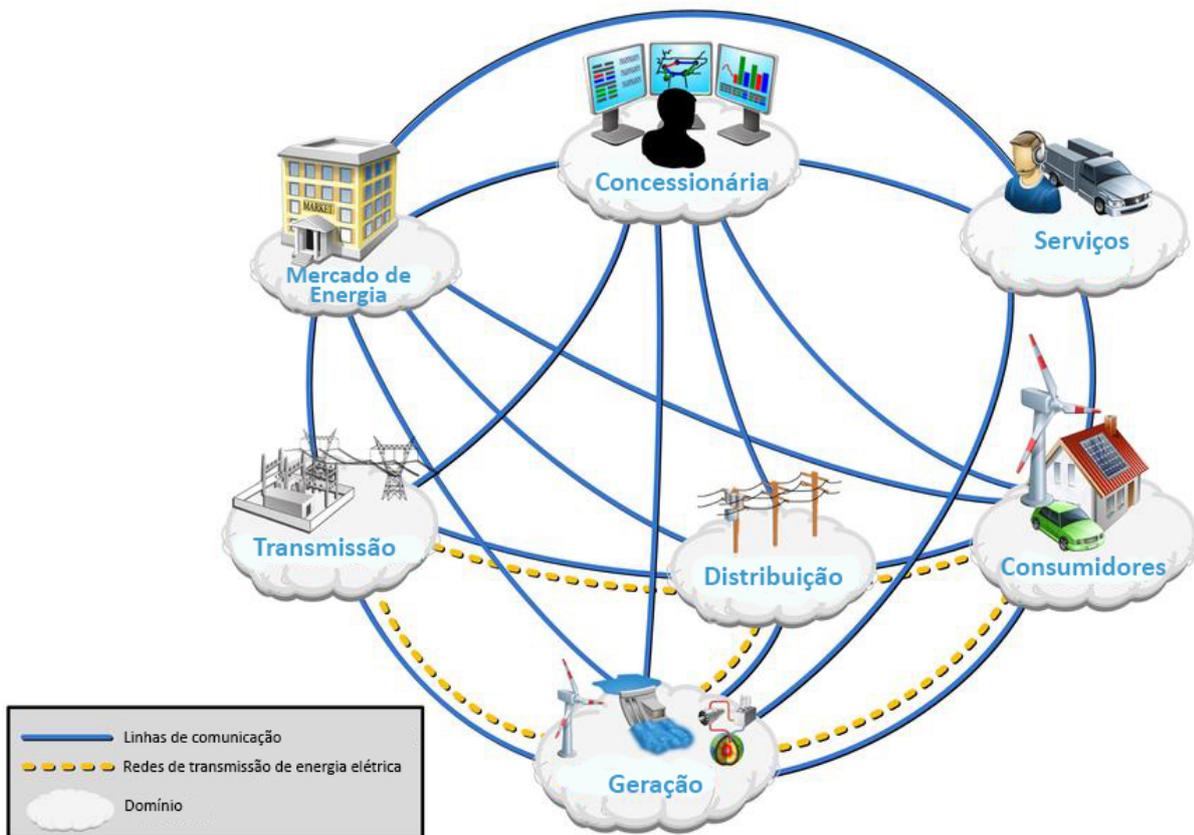
Fonte: [berc.berkeley.edu](http://berc.berkeley.edu)

- Infraestrutura de comunicação: Estabelecem os meios de comunicação para que as informações possam ser transmitidas entre os elementos da rede. De modo geral, o medidor está conectado em uma rede local que é utilizada para acessar a rede da concessionária;
- Sistema de gerenciamento: É composto por sistemas concentradores de dados e centrais que processam essas informações. Os concentradores de dados tem como função coletar dados dos medidores inteligentes e enviá-los para os sistemas de gerenciamento de dados. Esses sistemas processam e armazenam tais informações que podem ser utilizadas para gerenciamento, controle, fatura, entre outros.

Esses elementos são vistos como essenciais para viabilizar a estruturação dos SMS e das Redes Inteligentes de Energia (SHARMA; SAINI, 2015), ilustrada na Figura 3. Nesse cenário, a medição de energia elétrica é realizada por dispositivos que apresentam funções superiores aos medidores eletromecânicos ou eletrônicos convencionais (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015). Para diferenciação das tecnologias apresentadas, tal dispositivo será chamado de medidor digital de energia elétrica.

Figura 3 – Rede Inteligente de Energia - Adaptado.

## Modelo Conceitual



Fonte: Adaptado de (NIST, 2014).

### 2.1 Caracterização do medidor digital

Em comparação com os medidores eletromecânicos ou eletrônicos convencionais, os medidores digitais apresentam maior exatidão de medição, mais capacidade de armazenamento, comunicação bidirecional de informações de consumo, e capacidade de integração com sistemas de gerenciamento de energia (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015).

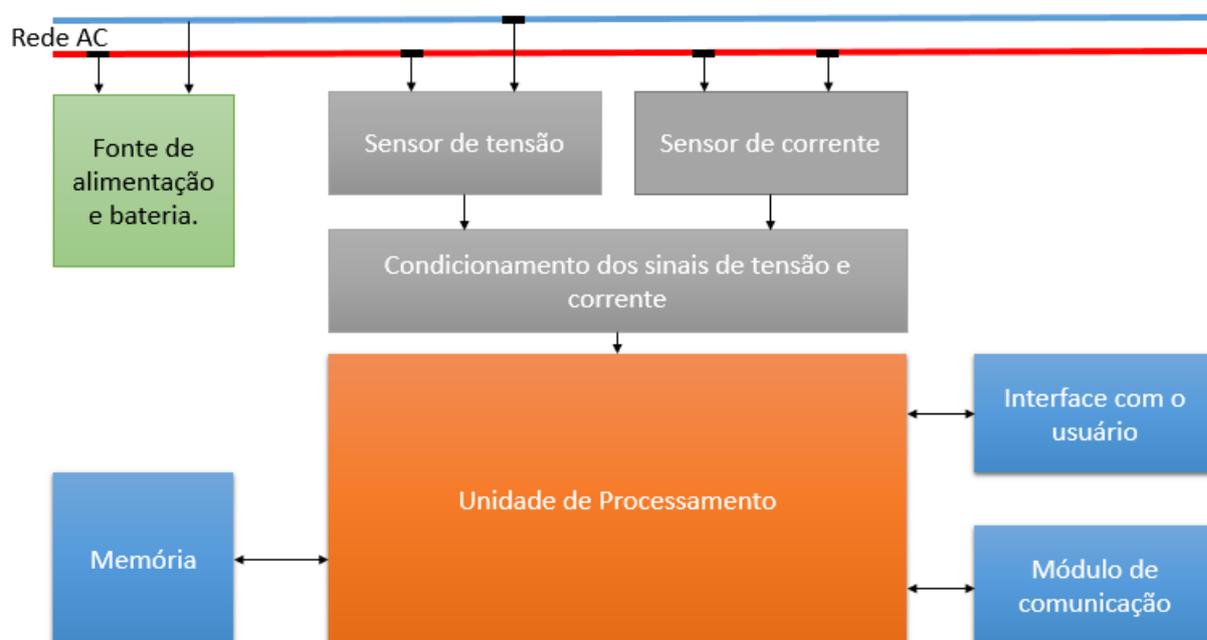
Algumas funcionalidades dos medidores digitais são (CGEE, 2013; ZHENG; GAO; LIN, 2013; SHARMA; SAINI, 2015; OPRIS; CARACASIAN, 2013a; OPRIS; CARACASIAN, 2013b):

- Comunicação bidirecional entre o medidor digital e a concessionária;
- Medição de parâmetros: energia e potência ativa, energia e potência reativa, tensão, corrente, fator de potência, entre outros;
- Registros de parâmetros de qualidade de energia;

- Capacidade de gerenciar cargas controláveis conectadas ao medidor;
- Controle de demanda e capacidade de limitar potência;
- Taxa de amostragem programável;
- Armazenamento de dados em memória de massa;
- Atualização remota de firmware;
- Consulta de informações de consumo e registro de eventos;
- Proteção contra inversão de fase;
- Detecção de fraudes e violação do dispositivo.

A função elementar de um medidor de energia é realizar a amostragem dos sinais de tensão e corrente de modo instantâneo a uma determinada frequência. Com os valores de tensão e corrente, o medidor pode determinar diversos parâmetros, por exemplo, potência ativa, potência reativa, fator de potência, entre outros (SHARMA; SAINI, 2015; CARRIARMEL et al., 2013; BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015). De modo geral, o hardware do medidor é composto pelos elementos ilustrados na Figura 4.

Figura 4 – Módulos de um medidor digital de energia.



Fonte: o próprio autor.

### 2.1.1 Sensoriamento, condicionamento e digitalização de sinais

Nesse módulo, os sinais de tensão e corrente são condicionados e adequados para etapa de digitalização do sinal. Esse procedimento envolve a utilização de um conversor analógico-digital que faz a conversão das amostras periodicamente. Além da adequação dos sinais, nesse processo são utilizados filtros anti-aliasing para atenuar frequências indesejadas que podem afetar o processamento do sinal. Assim, os dados convertidos nesse processo são transferidos e armazenados temporariamente na unidade de processamento.

### 2.1.2 Unidade de processamento

Essa unidade é o principal elemento do medidor, pois é responsável por transformar as amostras obtidas nos parâmetros descrito anteriormente. Entre as tecnologias que podem ser utilizadas destacam-se: microcontrolador, processador digital de sinais (do inglês, DSP - Digital Signal Processor) e System-On-Chip (SOC). Outra solução que pode ser adotada é a utilização de dispositivos de metrologia, denominado Analog Front End (AFE) Metrology chip.

Independente do hardware, a unidade de processamento é responsável por executar os algoritmos que realizam o processamento dos valores medidos, geram indicadores e relatórios de consumo, transmitem informações por meio de uma interface de comunicação e exibem informações para os consumidores. Cabe destacar ainda que durante o processo de amostragem também pode ser registrado a data e horário da medição utilizando um relógio de tempo real (RTC).

### 2.1.3 Memória de armazenamento em massa

Os dados processados são armazenados na memória. Isso possibilita que informações obtidas pelo medidor possam ser acessadas em períodos que podem ser diários, semanais, mensais e anuais. Além disso, esses dados de consumo podem ser enviados para processamento e/ou compartilhamento em nuvem.

### 2.1.4 Interface de comunicação

As informações podem ser transferidas por meio da interface de comunicação que pode ser sem fio (Rádio frequência - RF) para curtas distâncias ou pela própria linha elétrica (PLC - Power Line Communication). Esses dois meios de comunicação são considerados os principais para o cenário de aplicações dos medidores digitais (ZHENG; GAO; LIN, 2013). De modo geral, é necessário que o medidor possa se conectar a AMI possibilitando a comunicação entre o consumidor e a concessionária. Para isso, o medidor deve estar conectado na rede residencial (do inglês, HAN - Home Area Network). As tecnologias de comunicação são destacadas na literatura são: Conexão de alta velocidade

pela própria linha elétrica (BPL - Broadband over Power Lines), Fibra óptica, Redes de Celular/WMAN, WiMax, Bluetooth, GPRS, Internet, Satélite, Peer-to-Peer, Zigbee, IEEE 802.16e, LRRF (Long-range RF), 6LowPAN, Z-wave.

### 2.1.5 Interface homem-máquina

As informações obtidas por um medidor de energia podem ser disponibilizadas de diversas maneiras. Geralmente, essas informações são exibidas em um display LCD. Dessa maneira o consumidor pode consultar tais informações diretamente no aparelho.

Alguns equipamentos podem enviar tais informações para os sistemas de gerenciamento de energia. Assim, os dados são exportados para uma plataforma que pode ser acessada como um serviço, por exemplo, um servidor WEB acessado a partir do navegador de internet ou aplicativo.

## 2.2 Considerações sobre o medidor digital

As funcionalidades dos medidores digitais de energia têm sido acrescidas rapidamente devido a competição de mercado e regulações impostas pelos governos. Isso, é claro, avança de modo único com as imposições feitas em cada país, mas certamente fará com que milhares de medidores tradicionais sejam trocados pelos novos medidores de energia. Contudo, essas aplicações ainda possuem algumas barreiras que serão ultrapassadas somente com a definição de normas, padrões e leis, tanto internacionais quanto nos países vigentes. Pois, embora pareçam incontestáveis os benefícios dessa variedade de aplicações, a disponibilidade desse grande volume informações traz à tona questões sobre privacidade dos consumidores e principalmente, quais entidades terão acesso (LEIVA; PALACIOS; AGUADO, 2016).

Atualmente, os medidores digitais são chamados de inteligentes pois possibilitam uma série de aplicações, por exemplo: tarifação dinâmica, resposta em demanda, controle de cargas remotamente, notificação de falhas, entre outras. Tais funções são potencializadas, principalmente, pela capacidade de comunicação bidirecional (CGEE, 2013; ZHENG; GAO; LIN, 2013; SHARMA; SAINI, 2015; OPRIS; CARACASIAN, 2013a; OPRIS; CARACASIAN, 2013b; MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013).

Considerando o termo inteligente, esses dispositivos não apresentam nenhuma funcionalidade que represente tal característica (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013). Assim, considerando-se que as funcionalidades dos medidores de energia atuais estão muito aquém do desejável, uma nova categoria de medidores tem sido proposta. Esses novos dispositivos foram chamados de medidores cognitivos de energia e apresentam como diferencial métodos que permitem realizar a desagregação do consumo por cargas de uma unidade consumidora (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013).

## 2.3 Medidores Cognitivos de Energia: Perspectivas e Tendências

Em síntese, um sistema de medição inteligente é caracterizado por utilizar dispositivos capazes de obter mais informações sobre consumo de energia elétrica em comparação aos medidores tradicionais. Além disso, tais dispositivos também utilizam de meios de comunicação para enviar e receber dados. Essas informações reunidas são vistas como essenciais para transformar o sistema elétrico tradicional em uma rede inteligente de energia. Atualmente, com a liberalização do mercado de energia e as necessidades latentes relacionadas ao desenvolvimento sustentável e a eficiência energética, torna-se necessário o desenvolvimento de equipamentos e normas que potencializem essas aplicações (LEIVA; PALACIOS; AGUADO, 2016).

Como dito anteriormente, o termo inteligente ainda é tema de discussão. Entre as principais funções para o medidor inteligente do futuro, a desagregação do consumo por cargas é vista como essencial para entender os hábitos de consumo e reduzir gastos com energia elétrica (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014).

Os métodos de monitoramento de carga são utilizados para estipular o consumo individual de eletrodomésticos (NAGHIBI; DEILAM, 2014) e são classificados na literatura de acordo com o modo como as medições de consumo de energia são realizadas. Diante disso, o método empregado na medição pode ser classificado como invasivo/distribuído se para tal é necessário utilizar vários dispositivos de medição (para cada carga ou grupo de cargas), não invasivo/concentrado em que é possível identificar o consumo de diferentes equipamentos ligados à rede elétrica utilizando apenas um ponto de medição, ou ainda semi-distribuído em que os dois métodos são empregados.

Considerando essa característica e um meio eficiente para disponibilizar tais informações, os consumidores estarão aptos a monitorarem e se conscientizarem em relação ao próprio consumo de energia (MAKONIN; POPOWICH; GILL, 2013), facilitando a gestão e controle dos gastos com energia. Na Figura 5 é mostrado um sistema de gestão de consumo com dados obtidos a partir de medidores de energia.

Essa funcionalidade também é apontada como sendo de interesse por parte dos consumidores residenciais e reforçada por estudos que demonstram o potencial de redução de consumo a partir da divulgação dessas informações (MAKONIN et al., 2014). Nesse sentido, o meio de divulgação dessas informações também é discutido na literatura. Atualmente, destaca-se o uso de display informativos (do inglês, IDH - in-home display) para prover informações em tempo real e recomendações sobre o consumo de energia (SAIKIA et al., 2016; MAKONIN et al., 2014; MAKONIN et al., 2013; CHOI et al., 2009). Outras maneiras de exibir essas informações podem ser criadas utilizando aplicativos para celulares (ISA et al., 2015) e servidores WEB (LANDI; MEROLA; IANNIELLO, 2011).

Figura 5 – Sistema de gerenciamento.



Fonte: greenant.com.br

## 2.4 Conclusões parciais

As informações destacadas nesse capítulo deixam em evidência as principais aplicações dos novos medidores de energia. Embora essas tecnologias estejam em desenvolvimento e não tenham estabelecido padrões difundidos, diversos benefícios podem ser obtidos com informações detalhadas sobre consumo de energia elétrica. Nesse contexto, os medidores digitais são chamados de inteligentes, embora não apresentem tais características. Outra definição é a de medidores cognitivos de energia, que no âmbito residencial é visto como elemento essencial para providenciar aos consumidores informações suficientes que levem ao conhecimento dos seus hábitos de consumo. Diante disso, esses elementos podem ser utilizados para potencializar ações que resultem em consumo eficiente de energia elétrica.

Nesse contexto, o reconhecimento de cargas residenciais tem ganhado destaque, pois possibilita rastrear o consumo individual de eletrodomésticos, possibilitando a criação de ferramentas de gestão que auxiliem os consumidores a entender e adequar seus hábitos de consumo de energia elétrica. Além disso, tais informações podem ser utilizadas para sugerir a seleção do modo de operação de um determinado equipamento ou até mesmo identificar equipamentos ineficientes. Essas aplicações serão discutidas no próximo capítulo, considerando o cenário de eficiência energética e avaliação de conformidade de eletrodomésticos.



## 3 Eficiência energética

Embora a demanda de energia tenha aumentado nos últimos 30 anos, muitos países diminuíram o uso de energia por unidade de produtos e serviços produzidos durante um ano (WEC, 2013). Essa redução se deve, principalmente, ao aumento da eficiência energética de produtos e processos. Nesse cenário, os imóveis (residenciais e não residenciais) representam o setor de maior consumo de energia, sendo um dos principais alvos dos programas de eficiência energética (WEC, 2013).

Em muitos países, a média de energia consumida nas residências vem diminuindo anualmente em aproximadamente 0.4% (WEC, 2016). De fato, o governo de diversos países tem incentivado a criação de programas, normas e campanhas educacionais a respeito da eficiência energética (WEC, 2013). Mais de 50% dos países já implementaram programas e leis sobre eficiência energética. Desses países, 60% já criaram agências controladoras para promover a eficiência energética com objetivo de fornecer corpo técnico capacitado para atender as necessidades tanto por parte dos governos quanto dos consumidores. Nesse contexto, algumas políticas como práticas regulatórias, incentivos fiscais e informações são utilizadas como instrumentos para fomentar a eficiência energética (WEC, 2016).

Especificamente, as políticas de eficiência energética têm como objetivo obter o maior benefício possível da energia que utilizamos, isto é, benefícios sociais, ambientais e econômicos. Em (WEC, 2016), foi definido que a eficiência energética pode ser considerada um recurso energético, ou ainda, “o primeiro combustível” a ser explorado em muitos países (IEA, 2016). Isso mostra, indubitavelmente, que a eficiência energética tem se tornado objetivo principal das políticas energéticas em todo o mundo (IEA, 2014a).

### 3.1 Consumo eficiente de energia elétrica

O conceito de eficiência energética pode parecer intuitivo, mas é extremamente complexo, principalmente quando é necessário defini-lo. Nesse sentido, é mais fácil determinar se algo é mais ou menos eficiente em termos de gasto de energia do que definir o conceito propriamente dito. Uma definição dada pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (IEA, 2014b) é a seguinte: Consumir menos energia para realizar o mesmo trabalho. Diante disso, a eficiência energética pode ser representada a partir de indicadores, que têm como fundamento estabelecer um grau de comparação entre elementos, indicando se um é mais eficiente que o outro. Assim, a classificação de eficiência energética pode ser realizada de duas maneiras: pela perspectiva da energia utilizada ou do trabalho realizado. Logo, algo pode ser mais eficiente por utilizar menos energia para realizar a mesma quantidade de trabalho, ou realizar mais trabalho para mesma quantidade de energia (IEA, 2014b).

Em síntese, a eficiência energética refere-se às ações que tem como efeito a redução da demanda de energia necessária para atender a sociedade com bens e serviços. De modo geral, as ações voltadas à eficiência energética correspondem a modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos. Além disso, podem ser obtidas a partir de melhorias na gestão e conservação por parte dos consumidores. Os ganhos provenientes das ações voltadas a eficiência energética podem ser categorizados de duas maneiras: progresso autônomo e progresso induzido. O primeiro é caracterizado por não resultar da interferência de políticas públicas, isto é, deve-se ao próprio movimento de mercado em busca de novas tecnologias que atendam às necessidades atuais consumindo menos energia. Já o segundo é caracterizado pela intervenção de políticas públicas (MME, 2013).

## 3.2 Programas de eficiência energética

Como dito anteriormente, as residências representam a maior parcela de utilização de produtos e serviços, sendo que os eletrodomésticos e mecanismos para aquecimento e resfriamento de ambiente são os principais elementos que consomem energia (WEC, 2013). Dessa maneira, tais elementos são principais alvos dos programas de certificação e adequação de normas cujo objetivo é reduzir o consumo de energia por parte desses.

Nesse cenário, as práticas regulatórias têm grande impacto e tem se mostrado mais efetivas que os incentivos fiscais. Exemplo disso é o desenvolvimento e aplicação de rótulos que determinam a eficiência energética de um produto. Tais rótulos servem não apenas de guia para o consumidor, mas também motivam o desenvolvimento de novos produtos que atendam a novas especificações (WEC, 2016).

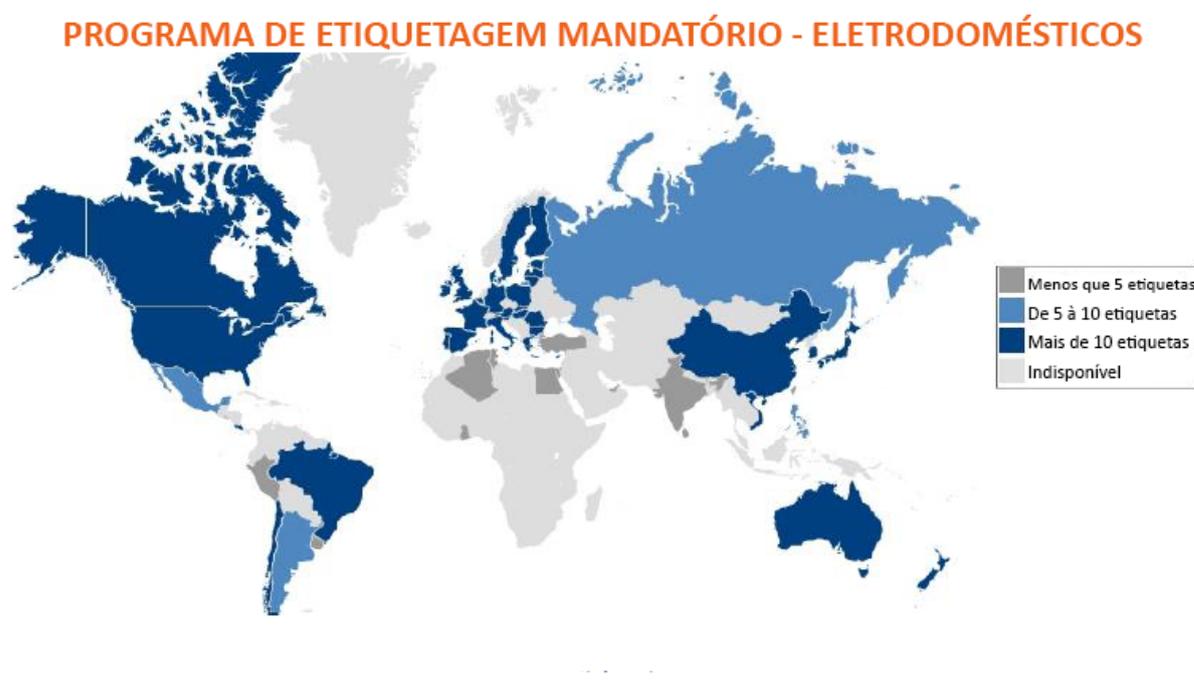
### 3.2.1 Panorama mundial

Atualmente, 80% dos países já possuem ou planejam aderir programas de etiquetagem. Em 8 países, incluindo Brasil, Chile, Japão e Nova Zelândia, já existem mais de 20 equipamentos rotulados. Já nos países da União Europeia, China, Coréia do Sul, da América do Norte e Costa Rica possuem mais de 10 equipamentos rotulados. Entre os principais equipamentos, refrigeradores e ar-condicionado tem ganhado atenção (WEC, 2016).

As normas são necessárias para possibilitar que equipamentos menos eficientes sejam removidos do mercado. Tal ação se faz necessária, pois somente os programas de etiquetagem não tem poder para removê-los. De modo geral, a etiquetagem serve de incentivo para o desenvolvimento de produtos mais eficientes enquanto as normas determinam a condução do mercado. Logo, a etiquetagem e as normas devem ser atualizadas de forma conjunta para que o estímulo ao desenvolvimento e os ganhos com a eficiência energética sejam mantidos ao longo do tempo. Em relação aos consumidores é recomendado que as informações sobre

eficiência energética sejam direcionadas de maneira simples. Além disso, tais programas devem ser criados para auxiliar e atender consumidores de modo que os mesmos possam se conscientizar sobre o uso de energia. (WEC, 2013).

Figura 6 – Programas de etiquetagem no mundo.



Fonte: Adaptado de (WEC, 2016)

### 3.2.1.1 Minimum Energy Performance Standard

Os países da América do Norte adotam práticas agressivas para determinar condições mínimas de eficiência para os equipamentos. O principal objetivo é remover do mercado os equipamentos que não atendem a esses níveis mínimos. Com isso, o mercado vem se transformando e os ganhos com a economia tem apontado tal procedimento como uma prática efetiva. Especificamente, a norma MEPS (Minimum Energy Performance Standards) define uma série de requerimentos de desempenho que dispositivos que utilizam energia devem atender, especificando padrões máximos de consumo para que se obtenha o efeito desejado (VIANA et al., 2012).

### 3.2.1.2 Energy Star

O programa Energy Star®, criado pela Agência de proteção ambiental (EPA) e o departamento de energia (DOE) dos Estados Unidos, tem como objetivo ajudar os consumidores, empresas e indústrias a economizarem dinheiro e proteger o meio ambiente a partir da adoção de produtos mais eficientes do ponto de vista energético. O rótulo Energy Star® identifica o produtos com desempenho superior, de baixo custo, e até casas e edifícios. Cabe ressaltar que esse programa é voluntário (STAR, 2017).

Figura 7 – Etiqueta de certificação do Energy Star.



Fonte: (STAR, 2017).

### 3.2.1.3 Collaborative Labeling and Appliance Standards Program

Criado em 1999, o CLASP (Collaborative Labeling and Appliance Standards Program) promove programas de eficiência energética e etiquetagem. Atualmente, mais de 50 países desenvolveram programas de etiquetagem com a colaboração do CLASP, incluindo o Brasil.

## 3.2.2 Ações de eficiência energética no Brasil

Atualmente, o Brasil possui programas voltados à eficiência energética que são reconhecidos internacionalmente, são esses: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET) e Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Além desses programas, o país possui o Plano Nacional de Energia (PNE2030) que tem como meta reduzir em 10% o consumo de energia elétrica até 2030. Para tal, foi criado o Plano Nacional de Eficiência Energética para coordenar e direcionar as atividades, tendo como foco o aumento da eficiência dos sistemas energéticos (MME, 2013).

Cabe dizer que o estado de São Paulo possui o Plano Paulista de Energia (PPE 2020), que estabelece diretrizes e propostas na área da energia para o decênio 2011-2020 (PAULO, 2016b).

### 3.2.2.1 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Atualmente, o PROCEL é um programa do governo federal coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras, com propósito de promover o uso eficiente da energia elétrica bem como combater o seu desperdício.

Calcula-se que desde sua implementação, 92 bilhões de kWh foram economizados. Somente em 2015 estima-se que as ações do PROCEL possibilitaram economizar aproximadamente 11,68 bilhões de kWh. Tais resultados indicam que as ações voltadas, principalmente ao consumidor residencial, têm impactado de forma significativa a economia

de energia. Assim, as ações promovidas pelo selo contribuem de maneira significativa para redução do consumo de energia elétrica no país. Exemplo disso é a redução do consumo de energia por equipamentos condicionadores de ar que em 18 anos apresentaram redução de até 33% no consumo de energia entre os anos de 1998 e 2015 (PROCEL, 2016).

Para disseminar informações e realizar ações que promovam o uso eficiente de energia elétrica o PROCEL conta com diversos subprogramas (PROCEL, 2016):

- Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética - Procel Info;
- Eficiência Energética em Edificações - Procel Edifica;
- Eficiência Energética em Equipamentos - Procel Selo;
- Eficiência Energética Industrial - Procel Indústria;
- Eficiência Energética no Saneamento Ambiental - Procel Sanear;
- Eficiência Energética nos Prédios Públicos - Procel EPP;
- Gestão Energética Municipal - Procel GEM;
- Informação e Cidadania - Procel Educação;
- Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica - Procel Reluz.

Desses programas, o selo Procel tem como objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica, estimulando o uso eficiente e racional de energia elétrica, e fomentando a formulação de leis e regulamentos voltados para as práticas de eficiência energética. O Selo é mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Selo PROCEL de economia de energia.

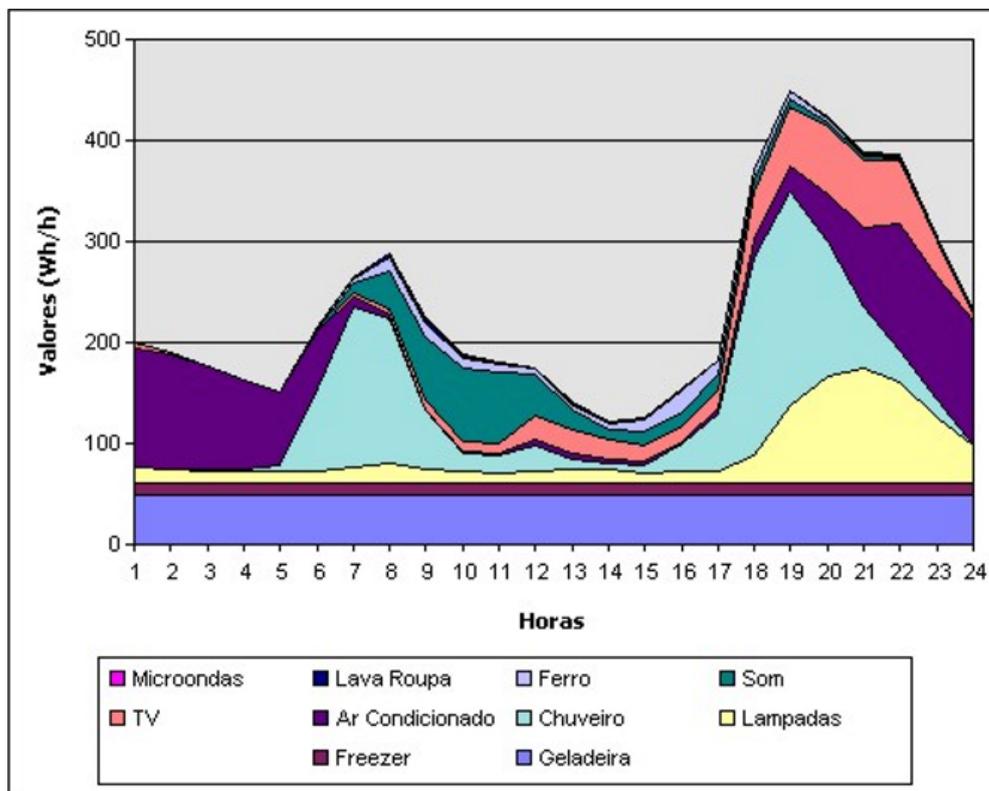


Fonte: procelinfo.com.br.

Além disso, tem como objetivo incentivar a fabricação e desenvolvimento de produtos mais eficientes, contribuindo para a redução de impactos ambientais. Até 2015, 44 milhões de equipamentos com selo PROCEL foram vendidos no Brasil. Esses equipamentos são distribuídos num total de 39 categorias que representam 3640 modelos de 190 fornecedores diferentes (PROCEL, 2016).

Nesse período também foram realizadas três pesquisas em âmbito nacional sobre a posse de equipamentos e hábitos de consumo de energia. A última pesquisa foi realizada entre 2004 e 2006, teve a coordenação da Eletrobras, por meio do Procel, e executada pela PUC-Rio. Os principais segmentos de consumo analisados foram: residencial, comercial/industrial (baixa tensão), comercial/industrial (alta tensão) e poderes públicos (alta tensão). Para isso, foram aplicados 14442 questionários, representando 92% do mercado consumidor de energia elétrica do Brasil, representado por 17 estados e o Distrito Federal. Somente no segmento residencial foram aplicados 9847 questionários. Tendo em vista a avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil, a pesquisa teve o resultado apresentado a partir do Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos (SINPHA). Conforme ilustrado na Figura 9, tal sistema possibilita analisar a curva de carga diária com base nos principais equipamentos presentes nas residências brasileiras.

Figura 9 – Curva de carga diária apresentada pelo SINPHA.



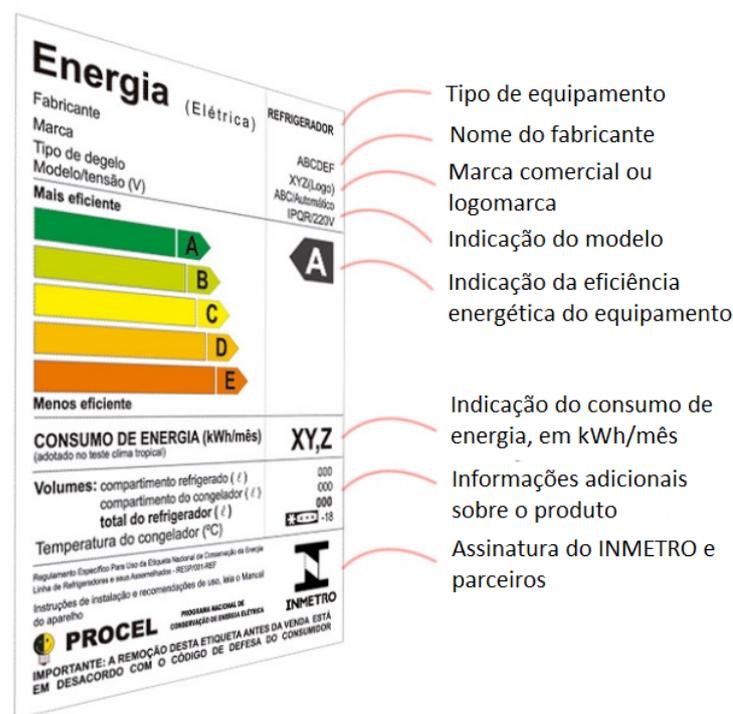
Fonte: (PROCEL, b).

Cabe ressaltar que essa pesquisa retrata um cenário com mais de 11 anos. No entanto, em 2009, a partir da resolução 395 da ANEEL, determinou-se que a pesquisa de posse e hábitos de consumo deve ser realizada pelas concessionárias a cada dois ciclos de revisão tarifária (ANEEL, 2009).

### 3.2.2.2 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O PBE, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), tem como objetivo fornecer informações sobre o desempenho de produtos, principalmente em relação a eficiência energética (PROCEL, 2016). Foi oficialmente criado em 1984 sob o nome de Programa de Conservação de Energia em Eletrodomésticos com objetivo de reduzir o consumo de equipamentos como condicionares de ar, geladeiras e refrigeradores. Em 1992 o nome foi modificado para Programa Brasileiro de Etiquetagem e passou a também estabelecer requisitos de segurança e níveis mínimos de eficiência energética. Além disso, o Selo Procel auxilia o Inmetro na condução do PBE, contribuindo com a elaboração de normas técnicas para ensaios de eficiência energética e na criação de índices de consumo de energia elétrica relativos à Lei de Eficiência Energética. As etiquetas fornecidas pelo PBE possuem uma classificação que podem ir da letra A sendo a mais eficiente, até a letra E sendo a menos eficiente (PROCEL, 2016). A etiqueta é mostrada na Figura 10.

Figura 10 – Etiqueta de eficiência energética.



Fonte: inmetro.gov.br.

### 3.2.2.3 Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e Gás Natural

O CONPET é um programa do Governo Federal, criado em 1991, por decreto presidencial, vinculado ao Ministério de Minas e Energia, executado com apoio técnico e administrativo da Petrobras. Tem como meta promover o desenvolvimento de uma cultura antidesperdício no uso dos recursos naturais não renováveis. Além disso, estimula a eficiência no uso da energia em diversos setores, principalmente, no residencial, industrial e de transportes. Como objetivo, o CONPET busca conscientizar os consumidores sobre a importância do uso racional de energia para o desenvolvimento sustentável e melhor qualidade de vida (MME, 2013).

### 3.2.2.4 Lei de Eficiência Energética

Além dos programas citados, outra ação recente feita pelo governo brasileiro foi dada a partir do Decreto nº 4059/2001. Tal decreto regulamentou a Lei de Eficiência Energética (lei nº 10.295/2001) e também criou o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Tal comitê tem a função de estabelecer um programa de metas que cada equipamento regulamentado deve atender. Além disso, com a Lei de Eficiência Energética a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), concedida pelo Inmetro, foi vinculada ao Selo Procel. Essa lei complementa as ações que visam estimular o consumo de produtos mais eficientes do ponto de vista energético.

### 3.2.2.5 Plano Paulista de Energia

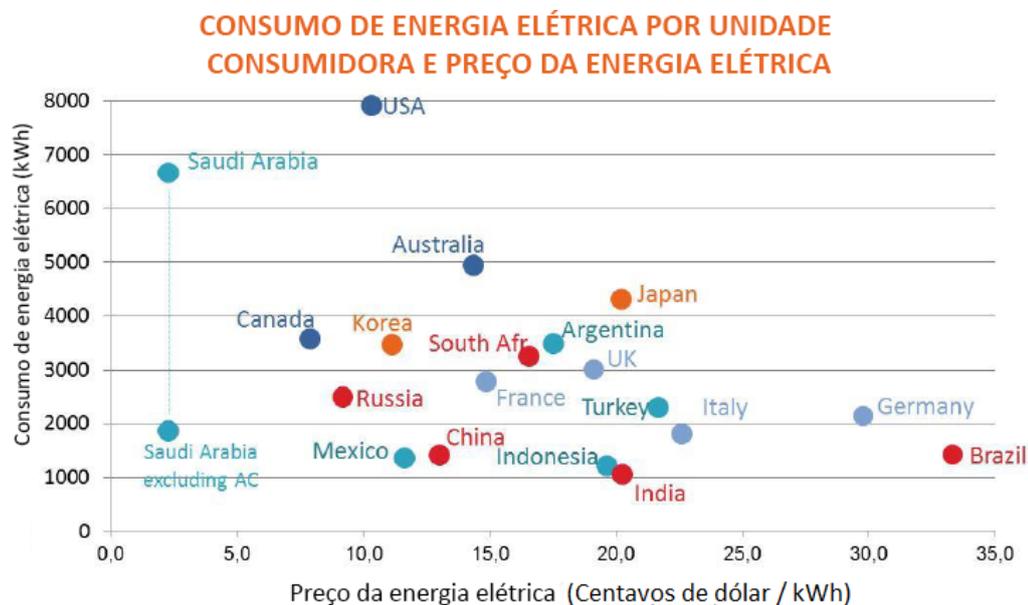
O PPE é uma iniciativa que reúne políticas públicas direcionadas para o desenvolvimento sustentável que busca contribuir para o cumprimento dos objetivos e meta da Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) do Estado de São Paulo. Para tal, foram elaboradas propostas e diretrizes com foco em energias renováveis, eficiência energética e ao uso racional de energia elétrica. Além disso, o potencial de economia para os principais usos finais de energia elétrica no Estado de São Paulo é apresentado considerando dados de consumo de energia elétrica em São Paulo, o potencial de redução de consumo e da aplicação de medidas de eficiência energética no Estado. Entre outras ações, o programa propõe a criação de campanhas educativas sobre o uso racional da energia elétrica direcionadas ao público geral (PAULO, 2016b).

## 3.3 Eficiência energética nas residências

O consumo de energia elétrica nas residências apresenta padrões variados que estão diretamente relacionados à posse de eletrodomésticos, ao preço da energia elétrica e aos hábitos de consumo (WEC, 2016). Essa relação entre o consumo de energia elétrica e o

preço por kWh é apresentado na Figura 11. Cabe ressaltar que foram considerados somente o consumo por eletrodomésticos e iluminação.

Figura 11 – Relação entre o consumo de energia elétrica por residência e o preço do kWh.



Fonte: Adaptado de (WEC, 2016).

É interessante observar que o Brasil apresenta preço elevado em relação a países desenvolvidos. Por sua vez, a comparação entre países desenvolvidos apresenta padrões bem distintos, por exemplo, Alemanha, Japão e Estados Unidos. Nesses casos, o preço da energia elétrica parece influenciar o consumidor residencial, o que também explicaria a posição do Brasil.

No Brasil, o consumo de energia elétrica no setor residencial representa 27,8% do consumo total entre todos os setores. Estima-se que as medidas de eficiência energética podem reduzir o consumo de uma residência em 30% (ELETROBRAS, 2016). Já no estado de São Paulo, o setor residencial representou 26,2% do consumo final de energia elétrica no ano de 2015 (PAULO, 2016a).

Um levantamento feito pelo IDEC (Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor) em 2013 mostra que os eletrodomésticos utilizados na cozinha são os grandes vilões do consumo de energia elétrica nas residências brasileiras. Considerando o consumo mensal, tal levantamento apontou que uma geladeira simples, com apenas uma porta e sem a tecnologia frost-free, consome em média 25,2 kWh por mês. Já o forno de micro-ondas tem consumo médio de 13,98 kWh, considerando apenas 20 minutos de uso por dia (IDEC, 2013).

Em outra pesquisa, realizada pela CPFL, são apontados dados alarmantes. Durante as estações mais quentes como o verão, o consumo de energia residencial com equipamentos de refrigeração pode representar até 18% do consumo total de uma residência. Isso

significa que equipamentos utilizados para fins de refrigeração, tais como ventiladores e ar-condicionado, podem superar o consumo de outros bens como, por exemplo, chuveiros e televisões. Ainda segundo a pesquisa, somente o aparelho de ar-condicionado pode aumentar cerca de 30% do consumo mensal de uma residência no verão em comparação com o inverno (CPFL, 2016).

No estado de São Paulo, os domicílios apresentam consumo predominantemente de eletricidade para iluminação, aquecimento de água e refrigeração (PAULO, 2016b). Em 2015, essa demanda por energia elétrica representou 61% do consumo total no setor residencial (PAULO, 2016a).

### 3.3.1 Consumo energético na climatização

Os equipamentos condicionadores de ar representam uma parcela significativa da demanda global de energia elétrica (CLASP, g). Além disso, é estimado que o uso de condicionadores de ar seja triplicado até 2050.

O CLASP e o Institute for Governance and Sustainable Development (IGSD) trabalham para assessorar mercados emergentes em relação a políticas de eficiência energética e de refrigeração para equipamentos condicionadores de ar (CLASP, a). Esses equipamentos estão entre os principais alvos dos programas de etiquetagem, que já estão presentes em 58 países, sendo que outros 11 planejam também adotar a medida (WEC, 2016). Além disso, em 48 países, incluindo o Brasil, o MEPS é mandatório.

Em 2006, o CLASP finalizou o estudo sobre os índices mínimos de eficiência energética, etiquetas e procedimento de ensaios para refrigeradores, freezers e condicionadores de ar (janela) no Canadá, México, Estados Unidos, China e outros países em desenvolvimento e/ou transição. Esse estudo técnico reforçou as ações tomadas pela Lei de Eficiência Energética que determina o estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para eletrodomésticos no Brasil (CLASP, b).

Diante disso, o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética é considerado o mecanismo mais eficaz para controlar e conduzir o desenvolvimento de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes (PESSOA; GHISI, 2015).

A eficiência desses equipamentos é definida por um coeficiente (CEE) que representa a razão entre a capacidade total de refrigeração (expressa em Watts) e a potência elétrica demandada (expressa em Watts). É determinado em procedimentos de teste com o equipamento em plena carga, ou seja, com a capacidade de máxima de refrigeração (PEREIRA; LAMBERTS; GHISI, 2013). Tais índices foram reavaliados em 2011 a partir da Portaria Interministerial 323, sendo coordenada pelo INMETRO (CLASP, d). Cabe ressaltar que o consumo de energia é determinado com base nos resultados do ciclo normalizado pelo INMETRO, de 1 hora por dia por mês (INMETRO, 2017).

Assim, foram definidos os seguintes níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética: para condicionadores split o coeficiente é 2,60 W/W e para condicionadores de janela 2,30 W/W a 2,78 W/W. Já a etiquetagem desses equipamentos é feita pelo PROCEL e os testes são realizados conforme as normas NBR 5858, NBR 5882, NBR 12010, IEC 60335-1 e IEC 60335-2-40 (CLASP, e).

A classificação dos equipamentos obedece aos índices de eficiência em vigor da portaria INMETRO/MDIC número 410 de 16/8/2013.

Os coeficientes dos condicionadores de ar do tipo janela são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Condicionador de ar - Janela. Fonte: (MDIC, 2013)

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4
	$\leq 9.495$ kJ/h ou $\leq 9.000$ BTU/h	9.496 a 14.769 ou 9.001 a 13.999	14.770 a 21.099 ou 14.000 a 19.999	$\leq 21.100$ ou $\leq 20.000$
<b>A</b>	$\geq 2,93$	$\geq 3,03$	$\geq 2,88$	$\geq 2,82$
<b>B</b>	$\geq 2,84$	$\geq 2,94$	$\geq 2,71$	$\geq 2,65$
<b>C</b>	$\geq 2,76$	$\geq 2,86$	$\geq 2,59$	$\geq 2,48$
<b>D</b>	$\geq 2,68$	$\geq 2,78$	$\geq 2,45$	$\geq 2,30$

Os coeficientes dos condicionadores de ar dos equipamentos do tipo Split Cassete, HI-WALL e Piso-Teto são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Condicionares de ar - Split Cassete, HI-WALL e Piso-Teto. Fonte: (MDIC, 2013)

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)
<b>A</b>	$3,23 < CEE$
<b>B</b>	$3,02 < CEE \leq 3,23$
<b>C</b>	$2,81 < CEE \leq 3,02$
<b>D</b>	$2,60 \leq CEE \leq 2,81$

Cabe ressaltar que o consumo desses equipamentos pode variar de acordo com o ambiente e os de uso. Assim, para manter o consumidor informado e engajado, o Procel sugere as seguintes ações (PROCEL, a):

- Comprar o aparelho adequado ao tamanho do ambiente;
- Evitar o frio excessivo, regulando o termostato;
- Desligar o aparelho quando o ambiente estiver desocupado;
- Proteger a parte externa do aparelho da incidência do sol, sem bloquear as grades de ventilação;

- Manter janelas e portas fechadas quando o aparelho estiver funcionando;
- Evitar o calor do sol no ambiente, fechando cortinas e persianas;
- Não tapar a saída de ar do aparelho;
- Manter limpos os filtros do aparelho, para não prejudicar a circulação do ar.

### 3.3.2 Consumo energético nos equipamentos de refrigeração

Como mencionado anteriormente, os refrigeradores estão entre os principais equipamentos alvos dos programas de etiquetagem. Tais programas são aplicados em 60 países, sendo que outros 11 planejam também adotar a medida. (WEC, 2016).

A classificação dos equipamentos obedece aos índices de eficiência em vigor desde janeiro de 2006. Tal índice de eficiência ( $C/C_p$ ) é a relação entre o consumo de energia elétrica medido no laboratório ( $C$ ) e o consumo de energia padrão ( $C_p$ ) estabelecido por análise estatística, levando-se em consideração o universo de produtos etiquetados em 2001 (MDIC, 2006).

A etiquetagem desses equipamentos é feita pelo PROCEL e os testes são realizados conforme as normas ISO 7371, ISO 8187, ISO 5155, ISO 8561 (CLASP, f). Os Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência desses equipamentos são listados nas tabelas 3, 4, 5 e 6. Cabe ressaltar que esses equipamentos são classificados conforme o agente expensor utilizado.

Tabela 3 – Equipamentos que utilizam R141b como agente de expansão das espumas.

Classe	Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência ( $C/C_p$ ) energética		
	Refrigerador	Combinado	Combinado frost-free
A	0,820	0,820	0,812
B	0,893	0,893	0,884
C	0,972	0,972	0,963
D	1,059	1,059	1,049
E	>1,059	>1,059	>1,059

Tabela 4 – Congeladores que utilizam R141b como agente de expansão das espumas.

Classe	Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência ( $C/C_p$ ) energética		
	Congelador vertical	Congelador vertical frost-free	Congelador horizontal
A	0,820	0,820	0,820
B	0,893	0,893	0,893
C	0,972	0,972	0,972
D	1,059	1,059	1,059
E	>1,059	>1,059	>1,059

Tabela 5 – Equipamentos que utilizam Ciclopentano como agente de expansão das espumas.

<b>Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência (C/Cp) energética</b>			
<b>Classe</b>	<b>Refrigerador</b>	<b>Combinado</b>	<b>Combinado frost-free</b>
<b>A</b>	0,855	0,855	0,846
<b>B</b>	0,931	0,931	0,921
<b>C</b>	1,014	1,014	1,003
<b>D</b>	1,104	1,104	1,092
<b>E</b>	>1,104	>1,104	>1,092

Tabela 6 – Congeladores que utilizam Ciclopentano como agente de expansão das espumas.

<b>Índices mínimos de eficiência das classes de eficiência (C/Cp) energética</b>			
<b>Classe</b>	<b>Congelador vertical</b>	<b>Congelador vertical frost-free</b>	<b>Congelador horizontal</b>
<b>A</b>	0,855	0,855	0,855
<b>B</b>	0,931	0,931	0,931
<b>C</b>	1,014	1,014	1,014
<b>D</b>	1,104	1,104	1,104
<b>E</b>	>1,104	>1,104	>1,104

Além disso, a partir da Portaria Interministerial 326 (2011) ficaram definidos os níveis máximos de consumo (C/Cp) para refrigeradores e congeladores. Esses índices são apresentados nas tabelas 7 e 8 para refrigeradores com e sem tecnologia frost-free.

Tabela 7 – Níveis máximos de consumo para refrigeradores e congeladores frost-free.

<b>Níveis máximos de consumo (C/Cp) para refrigeradores e congeladores.</b>		
<b>Refrigerador frost-free</b>	<b>Combinado frost-free</b>	<b>Congelador vertical frost-free</b>
1,174	1,131	1,158

Tabela 8 – Níveis máximos de consumo para refrigeradores e congeladores.

<b>Níveis máximos de consumo (C/Cp) para refrigeradores e congeladores.</b>				
<b>Frigobar</b>	<b>Refrigerador</b>	<b>Combinado</b>	<b>Congelador vertical</b>	<b>Congelador horizontal</b>
1,113	1,144	1,132	1,148	1,162

No que tange a utilização de equipamentos de refrigeração algumas práticas simples podem resultar na redução do consumo energético. Por exemplo, manter o equipamento afastado de fontes de calor, reduzir o tempo de abertura e evitar ações desnecessárias, afastar o condensador da parede, verificar as borrachas de vedação, entre outros. Assim, o Procel sugere as seguintes ações (PROCEL, a):

- Regular o termostato do refrigerador de acordo com a estação do ano e a quantidade de alimentos armazenados;

- Instalar o aparelho em local bem ventilado, longe do fogão, aquecedores e áreas expostas ao sol;
- Deixar espaço mínimo de 15 centímetros dos lados, acima e no fundo do aparelho, em caso de instalação entre armários e paredes;
- Não abrir a porta sem necessidade ou por tempo prolongado;
- Arrumar os alimentos de forma a perder menos tempo para encontrá-los e deixar espaço entre eles para o ar poder circular;
- Não usar a parte de trás do aparelho para secar panos de prato e roupas;
- Esvaziar a geladeira e/ou freezer e desligar da tomada quando se ausentar de casa por tempo prolongado;
- Verificar o estado da borracha de vedação.

### 3.3.3 Consumo energético nos fornos de micro-ondas

Para os aparelhos de micro-ondas, o índice mínimo de eficiência energética é estabelecido pelo RTQ (Regulamento Técnico da Qualidade). Esses ensaios são realizados conforme as normas IEC 60705 e IEC 62301 (CLASP, c), considerando a potência de saída do dispositivo e a energia consumida durante o ensaio de determinação da potência de saída do micro-ondas. Diante disso, cada modelo tem sua classe de eficiência energética indicada pelas letras A, B e C (MDIC, 2012). Tais índices são indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Índices de eficiência energética para micro-ondas.

Classe	Índices de Eficiência Energética
A	Eficiência $\geq 54$ %
B	$49$ % $\leq$ Eficiência $< 54$ %
C	$45$ % $<$ Eficiência $< 49$ %

Para o consumidor, algumas práticas podem auxiliar no consumo de energia (CEMIG, 2014):

- Retirar os alimentos do freezer com antecedência, evitando o descongelamento com o auxílio do micro-ondas;
- Para obter o máximo de rendimento e impedir o superaquecimento, não obstrua a saída de ar do aparelho;
- Manter a superfície interna do forno sempre limpa para permitir um cozimento mais eficiente.

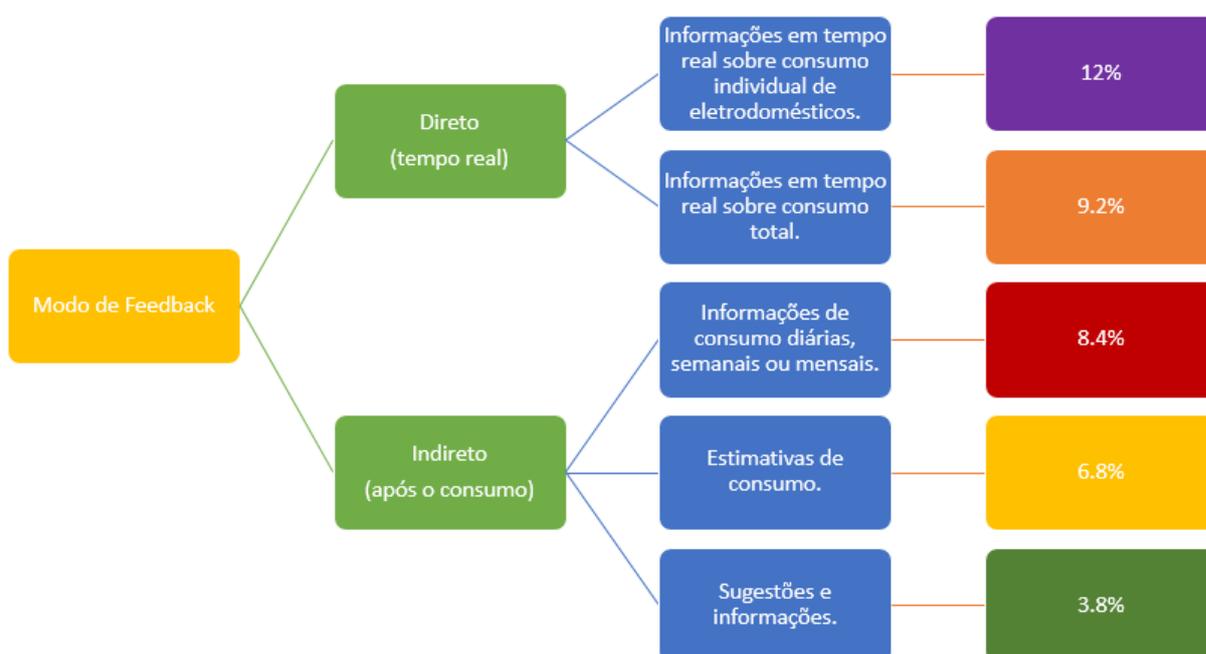
### 3.4 Aplicação de medidores cognitivos

No capítulo 2 apresentou-se o conceito do medidor cognitivo de energia elétrica. Com dito anteriormente, tal dispositivo é capaz de realizar o monitoramento e desagregação do consumo de cargas residenciais. Tais características podem ser exploradas a partir de uma combinação entre tecnologia e serviços de modo que o consumidor seja motivado, informado e engajado a atuar no próprio controle do consumo de energia (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010).

Diante disso, é necessário que os usuários conheçam bem os dispositivos usados. De modo geral, os consumidores podem ser influenciados a partir de informações disponibilizadas antecipadamente ou por consequência de alguma ação. No primeiro caso, qualquer meio de comunicação que apresente informação sobre modos de reduzir o consumo de energia pode afetar o comportamento do consumidor. Já o segundo está relacionado diretamente com o comportamento do consumidor, principalmente com informações que possibilitem sua conscientização em relação aos seus hábitos de consumo (WOOD; NEWBOROUGH, 2002).

Nesse contexto, as iniciativas voltadas à criação de programas de sugestões e recomendações tem se mostrado importantes (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010). Informações coletadas em 36 estudos indicam que essas ações já obtiveram resultado positivo, apresentando potencial de redução de consumo entre 4% a 12% (Figura 12).

Figura 12 – Avaliação dos métodos de sugestões e recomendações.



Fonte: Adaptado de (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010)

No contexto residencial, esses programas representam um passo fundamental em direção à criação de produtos e serviços que aumentem a conscientização dos consumidores em relação aos seus hábitos de consumo (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010).

Essas técnicas podem ser categorizadas como diretas ou indiretas. No método indireto, as informações sobre consumo são fornecidas de forma periódica e após o consumo ter ocorrido. No método direto, as notificações são geradas em tempo real e apresentam maior potencial de redução de consumo do que o método indireto (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010).

- Métodos Indiretos:

- Contas de energia detalhadas: Notificação de informações detalhadas e sugestões para reduzir o consumo tem potencial para gerar um consumo médio de 3,8%. De modo geral, esse tipo de abordagem apresenta comparação que podem ser realizadas com base no próprio histórico de consumo ou em relação a outros consumidores;
- Estimativas de consumo: Esse método utiliza de técnicas para extrair a informação de consumo de acordo com a categoria do consumidor, dos eletrodomésticos utilizados e do histórico de consumo. Tal método possibilita reduzir o consumo em 6,8% utilizando uma interface que contabilize o consumo individual de cada equipamento;
- Relatório de consumo diário/semanal: A notificação detalhada do consumo diário e/ou semanal apresentou redução do consumo de 8,4%. Diante disso, o consumidor pode adquirir novos hábitos e gerenciar melhor o consumo de energia.

- Métodos Diretos:

- Informações em tempo real: Esse método apresentou redução de 9,2%. De modo geral, o consumidor é notificado periodicamente sobre o consumo total. Isso é feito utilizando uma interface, por exemplo, in-home display;
- Informações detalhadas em tempo real: Em comparação com o método anterior, esse apresenta estimação de consumo a nível de eletrodomésticos. Esse método apresentou o maior potencial de redução do consumo, cerca de 12%.

Isso mostra que a apresentação de informações detalhadas em relação aos elementos que estão consumindo energia propicia a redução de consumo, pois possibilita criar recomendações e informações personalizadas (CARRIARMEL *et al.*, 2013).

Uma plataforma que fornece poucas sugestões e recomendações para o consumidor não tem muito potencial para reduzir os gastos de consumo, pois com a baixa frequência dessa interação é difícil estabelecer ou observar a relação entre o comportamento do consumidor e seus impactos no consumo de energia. Diante disso, a frequência e a granularidade dessas informações determinam o potencial da plataforma em fornecer sugestões e recomendações que realmente impactem no comportamento do consumidor. Isto é, definem a fronteira entre informação útil e a informação vaga de valores sobre consumo de energia elétrica (ACEEE, 2017).

De modo geral, os métodos de sugestões e recomendações que são capazes de gerar mais economia estão associados com a utilização de ferramentas como medidores e telas informativas. No entanto, a redução de consumo pode ser potencializada ainda mais se forem criados mecanismos que utilizem de técnicas motivacionais e comportamentais como definição de metas, comparações sociais, mensagens normativas, entre outros (EHRHARDT-MARTINEZ; DONNELLY; LAITNER, 2010). Nesse sentido, procedimentos de diagnósticos podem ser criados tendo como objetivo o aumento da eficiência energética. Pois, com acesso às informações de consumo, os eletrodomésticos podem ser avaliados se estão consumindo mais energia do que deveriam.

Além disso, notificações podem ser enviadas ao consumidor para informar se determinado equipamento pode ser trocado por outro mais eficiente. Para isso, tais recomendações podem levar em consideração o custo com a redução de consumo, estimativa sobre potencial de redução em um determinado período, entre outros (CARRIARMEL et al., 2013).

### 3.5 Conclusões Parciais

As ações voltadas à eficiência energética têm aumentado em diversos países. Entre as mais eficazes, a etiquetagem tem se mostrado como procedimento essencial para remover equipamentos ineficientes do mercado. No Brasil, o Procel realiza o procedimento de etiquetagem dos eletrodomésticos, sendo os ensaios conduzidos pelo INMETRO. As informações disponibilizadas ao consumidor servem para auxiliá-los sobre determinado equipamento com relação ao seu consumo e sua classificação de eficiência energética.

Como destacado, o consumo individual de cada equipamento pode ser monitorado por medidores cognitivos de energia. Essas informações podem ser disponibilizadas para o consumidor, servindo como ferramenta de gestão e também como sistema de diagnóstico, sendo capaz de averiguar a condição de operação de um determinado equipamento. Tal característica aliada aos mecanismos de sugestões e recomendações favorecem a aplicação de medidores cognitivos de energia no contexto residencial.



# 4 Técnicas Aplicadas e Metodologia Proposta

## 4.1 Reconhecimento de cargas residenciais

Devido a participação significativa no consumo de energia elétrica, tanto residencial como comercial, o monitoramento de equipamentos (do inglês, ALM – Appliance Load Monitoring) tornou-se essencial para entender os hábitos de consumo, bem como para reduzir gastos com energia elétrica (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014).

O monitoramento de cargas pode, de modo geral, ser categorizado em duas abordagens. A primeira é dita intrusiva, sendo denominada monitoramento intrusivo de cargas (do inglês, ILM – Intrusive Load Monitoring). A segunda é caracterizada por não ser intrusiva e é chamada de monitoramento não intrusivo de cargas (do inglês, NILM – Non-intrusive Load Monitoring) (NAGHIBI; DEILAM, 2014; DONG et al., 2012).

### 4.1.1 Assinatura de potência

A assinatura de potência de um equipamento representa um conjunto de amostras de potência elétrica armazenadas ao longo do tempo. Embora simples, essas assinaturas carregam informação importante para os algoritmos de classificação, pois cada equipamento possui uma assinatura de potência única (KOUTITAS; TASSIULAS, 2016).

De modo geral, as cargas podem ser categorizadas conforme sua dinâmica de operação (NAGHIBI; DEILAM, 2014):

- ON/OFF - dois estados conhecidos;
- Variável - múltiplos estados com padrões e repetições conhecidas;
- Operação contínua e comportamento variável - sem padrão fixo;
- Operação contínua e comportamento permanente - ativos constantemente e por um longo tempo.

Uma das características que podem ser observadas em uma assinatura de potência é a questão da periodicidade. Nesse cenário, transições de estados entre ligado e desligado ocorrem de maneira periódica. Exemplo disso é a operação de geladeiras e freezers. Além disso, alguns equipamentos podem apresentar outros estados antes de entrar no modo de operação supracitado. São exemplos disso os equipamentos condicionadores de ar, e

outros que geralmente utilizam termostatos. Nesses equipamentos ocorre um estágio de preparo que é caracterizado por possuir consumo constante. Os equipamentos já destacados também podem apresentar spikes (pulso rápido de alta tensão), sendo causado pela indução gerada por motores. Outra característica relacionada a indução é chamada de variância e representa uma flutuação da potência em torno da potência média consumida. Além disso, quando ativadas essas cargas indutivas podem apresentar picos de potência durante poucos segundos. Essas inclinações (slope) são características na operação de condicionadores de ar (KOUTITAS; TASSIULAS, 2016).

#### 4.1.2 Categorização das técnicas de monitoramento

Como dito anteriormente o monitoramento de carga tem duas abordagens principais. Em síntese, essas duas técnicas diferenciam-se em dois pontos específicos: Exatidão e Praticidade. Isto é, as técnicas ILM apresentam boa exatidão sobre o consumo individual de cada carga, enquanto as técnicas NILM conseguem realizar uma aproximação desse valor de consumo. A questão da praticidade está relacionada com a forma de obter as informações que possibilitam determinar os valores de consumo. Nesse sentido, as técnicas ILM necessitam de mais instrumentos para que cada carga seja monitorada, enquanto as técnicas NILM necessitam de apenas um. Além da praticidade, pode-se também citar o custo de implementação dessas técnicas, sendo a ILM mais dispendiosa devido à quantidade de elementos utilizados (NAGHIBI; DEILAM, 2014).

##### 4.1.2.1 Abordagem intrusiva ou distribuída - ILM

O ILM pode medir o consumo de uma ou mais cargas. De modo geral, é utilizado um elemento de medição próximo aos equipamentos de que se deseja monitorar. Alguns tipos de medição intrusiva são destacados a seguir (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014):

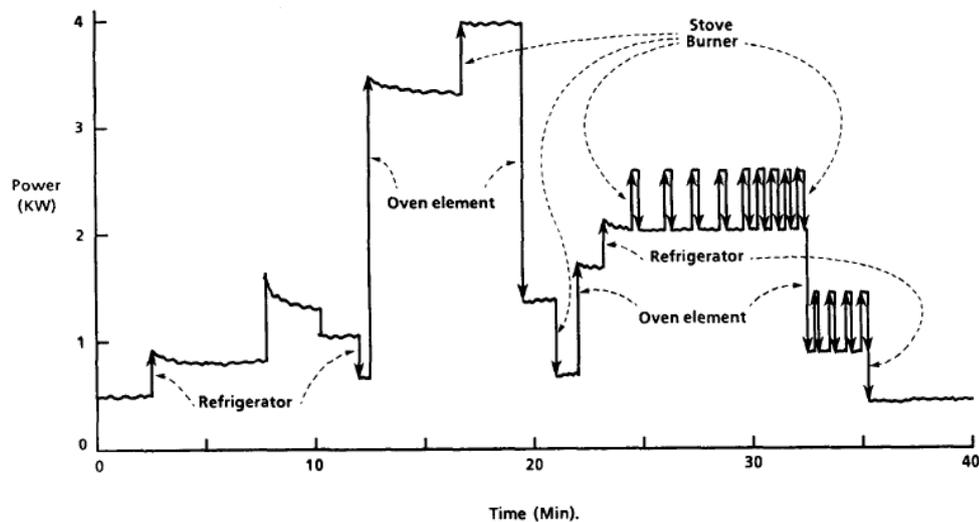
- Monitoramento de zonas de uma residência/instalação;
- Equipamentos conectados em tomadas (plug) – é dito direto, pois abrange somente os equipamentos conectados no ponto de medição;
- Monitor de consumo embarcado ou diretamente conectado no equipamento.

Por apresentar mais de um ponto de medição, esse método também pode ser chamado de multisensor, ou abordagem distribuída. Pode ser utilizado para analisar o comportamento e o consumo de um equipamento específico, compreender e caracterizar o consumo global de uma instalação, reconhecer e aprender hábitos de consumo, localização de cargas, entre outros. Além disso, pode ser utilizado para gerar ambientes de simulação e validação de técnicas NILM (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014).

#### 4.1.2.2 Abordagem não intrusiva ou concentrada - NILM

Atualmente, a técnica NILM tem recebido atenção especial, principalmente pela praticidade (NAGHIBI; DEILAM, 2014). Essa técnica foi apresentada por Hart, em 1992. Em síntese, tal técnica propõe que a partir da análise detalhada das formas de onda das tensões e correntes é possível de estimar a quantidade e o tipo das cargas presentes, bem como o consumo individual das mesmas (HART, 1992). Isso é ilustrado na Figura 13.

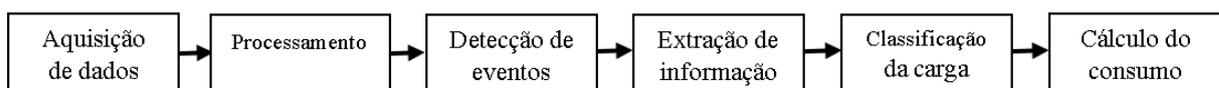
Figura 13 – Identificação de equipamentos a partir da análise de eventos — variação de consumo.



Fonte: (HART, 1992)

De modo geral, o NILM pode ser caracterizado por 6 estágios de execução. No primeiro estágio os valores de tensão e corrente são amostrados. Em seguida esses dados são processados e preparados para análise. Essa análise envolve a detecção de eventos na assinatura de potência, por exemplo, transição de estados. Com a assinatura de potência e a identificação de eventos é executado um algoritmo para extrair informações que permitam identificar a carga. Por fim, ocorre a execução de um algoritmo para classificação da carga e estimação do consumo individual para cada carga identificada. Isso é ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Etapas do método NILM.



Fonte: o próprio autor.

Nesse contexto, os estudos atuais têm como objetivo principal a elaboração de métodos que possibilitem monitorar grande quantidade de cargas e que aumentem a exatidão das aferições (NAGHIBI; DEILAM, 2014).

Por utilizar somente um ponto de medição, o método NILM apresenta as assinaturas de potência sobrepostas, isto é, compreende o consumo total de todos equipamentos. Por isso, é necessário utilizar técnicas que permitam desagregar o consumo de energia elétrica. Em outras palavras, tais métodos são necessários para identificar o consumo individual para cada equipamento (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014). Diferentes métodos de identificação não intrusiva são apresentados na literatura. De modo geral, os métodos mais tradicionais envolvem a análise de transitórios e acompanhamento de estados. Outras abordagens propõe a modelagem da operação de cada carga (NAGHIBI; DEILAM, 2014). Cabe ainda destacar que a abordagem NILM apresenta algumas deficiências, principalmente para detectar cargas em stand-by ou que apresentam comportamento com diversos estados (RIDI; GISLER; HENNEBERT, 2014).

#### 4.1.2.3 Abordagem semi intrusiva ou semi distribuída - SILM

Em comparação com as outras duas abordagens, o monitoramento semi intrusivo é caracterizado por não apresentar uma complexidade tão elevada para as técnicas de desagregação de cargas ao mesmo tempo em que não exige a instalação de sensores em todo ponto de consumo. Isto é, a instalação de sensores é realizada em cada circuito de interesse (TANG; WU; LEI, 2016). Tal abordagem é destacada na literatura como alternativa aos métodos destacados quando o número de cargas que serão monitoradas é grande (TANG; WU; LEI, 2014). Pois, com o aumento da quantidade de cargas que devem ser monitoradas cresce também a complexidade dos métodos de desagregação, principalmente dos recursos computacionais. Assim, a abordagem semi intrusiva define a solução ótima em que é selecionada a quantidade mínima de elementos intrusivos para atender o número de cargas estabelecido com a exatidão desejada (TANG; WU; LEI, 2014).

#### 4.1.2.4 Considerações sobre a abordagem NILM

Os parâmetros utilizados por Hart para formar a assinatura de potência compreendem basicamente valores de potência ativa (P) e reativa (Q). Pois, esses parâmetros apresentam formas diferentes de acordo com o comportamento da carga. Diante disso, algumas implicações nos algoritmos de desagregação podem levar a uma identificação errada, principalmente quando essas apresentam comportamentos semelhantes (TESHOME; HUANG; LIAN, 2016).

Isso é destacado na literatura com diversas publicações apresentando diferentes métodos de identificação, por exemplo, utilizando redes neurais artificiais (NN – Neural Network) (FUGITA, 2014; CHANG et al., 2012; XU; MILANOVIĆ, 2015), conjuntos nebulosos (KOUTITAS; TASSIULAS, 2016), redes neurais em conjunto com sistemas nebulosos (DUARTE, 2015), transformada Wavelet (RODRIGUES, 2009), técnicas de monitoramento de janelas de tempo (DONG et al., 2012; BASU et al., 2015), cadeias de

Markov ocultas (HMMs - Hidden Markov Models) (MAKONIN et al., 2015; GUO; WANG; KASHANI, 2015). Em (SOUZA, 2016), cinco algoritmos foram avaliados: Floresta de Caminhos Ótimos (OPF – Optimum Path Forest), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM – Support Vector Machine), Perceptron Multicamadas (MLP – Multilayer Perceptron), K-ésimo vizinho mais próximo (KNN – K-Nearest Neighbor) e Árvore de Decisão (DT – Decision Tree). Para base de conhecimento utilizado na tese, o algoritmo KNN obteve maior exatidão entre todas as técnicas avaliadas.

Em relação as grandezas utilizadas, diversos trabalhos foram propostos tendo como objetivo a definição de teorias de potência que possibilitem analisar de maneira detalhada um circuito elétrico. Entre esses, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Fryze (FRYZE, 1932), Depenbrock (DEPENBROCK, 1998), Akagi (AKAGI; NABAE, 1993), Czarnecki (CZARNECKI, 2008) e Tenti (TENTI; MATTAVELLI, 2003). Como apresentado em (SOUZA, 2016; TESHOME; HUANG; LIAN, 2016), tais definições podem ser utilizadas pelas técnicas de reconhecimento, possibilitando a identificação de características particulares de cada carga.

Assim, a metodologia proposta neste trabalho utiliza a teoria de potência conservativa Tenti (TENTI; MATTAVELLI, 2003) para gerar os indicadores necessários para classificação de cargas residenciais.

## 4.2 Teoria de potência conservativa

A Teoria de Potência Conservativa (do inglês, CPT - Conservative Power Theory) foi proposta inicialmente por P. Tenti e P. Mattavelli (TENTI; MATTAVELLI, 2003), da Universidade de Pádua (Itália). Essa teoria foi reformulada em 2010, consolidando uma nova abordagem para análise e interpretação de circuitos elétricos em condições gerais de operação.

De maneira geral, a CPT traz definições de potência e fator de potência, considerando ainda os efeitos de desbalanço de carga, assimetria de tensão e variação de frequência. As grandezas elétricas definidas pela CPT são ditas conservativas, pois satisfazem as leis de tensões e correntes de Kirchoff e, conseqüentemente, o teorema de Tellgen. Tais grandezas são calculadas a partir do produto escalar entre tensões e correntes, e de um conjunto adequado de variáveis (derivadas e integrais) que serão formalizadas posteriormente.

Além dos termos de potência e energia, a CPT decompõe as correntes de fase em parcelas ativa, reativa e residuais, de modo a relacionar tais definições com as características do circuito, isto é, dos fenômenos físicos resultantes devido a natureza de uma determinada carga. Essa decomposição de corrente de fase pode ainda ser expandida no caso dos circuitos trifásicos, em que essas parcelas podem ser categorizadas como balanceadas e desbalanceadas, representando o desbalanço de carga. Com isso, a CPT pode ser aplicada

tanto para circuitos monofásicos quanto para circuitos trifásicos com ou sem condutor de retorno.

Tendo em vista a definição da CPT, todo equacionamento descrito neste trabalho refere-se a tese de doutorado de (PAREDES, 2011). Assim sendo, assume-se como hipótese a frequência de operação constante. A frequência fundamental é  $f = \frac{1}{T}$ , em que  $T$  é o período e a frequência angular é  $\omega = 2\pi f$ .

### ***Definições básicas para o equacionamento da CPT***

Uma das principais quantidades definidas pela CPT é denominada integral imparcial, que é definida como a integral no tempo de uma determinada variável sem o seu valor médio. Assim, considerando uma variável  $x(t)$ , contínua e periódica, seu valor médio ( $\bar{x}$ ) é definido como:

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (4.1)$$

Já a integral no tempo da variável  $x(t)$  é:

$$x_f(t) = \int_0^t x(\tau) d\tau \quad (4.2)$$

Logo, a integral imparcial de  $x(t)$  é definida desconsiderando o valor médio de  $x_f(t)$  no período  $T$ :

$$\hat{x}(t) = x_f(t) - \bar{x} \quad (4.3)$$

Ainda, para os cálculos dos termos de potência e energia, é válido formalizar as seguintes operações matemáticas:

— Produto interno: O produto interno de duas grandezas periódicas  $x(t)$  e  $y(t)$  é definido como:

$$\langle x, y \rangle = \langle x, y \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t) dt \quad (4.4)$$

Cabe ressaltar que duas grandezas são ortogonais quando seu produto interno resulta em zero.

— Norma euclidiana: A norma euclidiana de uma grandeza  $x(t)$  é definida como:

$$\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (4.5)$$

Isto é, a norma euclidiana da grandeza  $x(t)$  resulta no valor eficaz da variável  $x$ .

Tendo em vista que a CPT também pode ser aplicada a circuitos trifásicos, as definições descritas anteriormente também se aplicam a vetores que representam um conjunto de grandezas contínuas e periódicas. Diante disso, a magnitude de um vetor  $\underline{x}$ , de dimensão  $m$ , é definida como:

$$|\underline{x}| = \sqrt{\underline{x} \cdot \underline{x}} = \sqrt{\sum_{\mu=1}^m x_{\mu}^2} \quad (4.6)$$

Em que  $\underline{x}$  é representada da seguinte forma:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Da mesma maneira, a norma de um vetor  $\underline{x}$  é definida como:

$$\|\underline{x}\| = \sqrt{\langle \underline{x}, \underline{x} \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{\mu=1}^m \int_0^T x_{\mu}^2 dt} = \sqrt{\sum_{\mu=1}^m X_{\mu}^2} \quad (4.8)$$

Assim sendo, a norma representa o valor eficaz coletivo do vetor  $\underline{x}$ , em que  $X_{\mu}$  é o valor eficaz da variável  $x_{\mu}$ . Além disso, dois vetores  $\underline{x}$  e  $\underline{y}$  são ditos ortogonais se o produto interno de suas variáveis resultar em zero. O produto interno de dois vetores é definido como:

$$\langle \underline{x}, \underline{y} \rangle = \sum_{\mu=1}^m \langle x_{\mu}, y_{\mu} \rangle = \sum_{\mu=1}^m \frac{1}{T} \int_0^T x_{\mu}(t) y_{\mu}(t) dt \quad (4.9)$$

Já o produto escalar de dois vetores é dado por:

$$\underline{x} \cdot \underline{y} = \sum_{\mu=1}^m x_{\mu} y_{\mu} \quad (4.10)$$

### 4.2.1 Potência e Energia

Para que seja possível realizar a decomposição de corrente de fase em parcelas que permitem analisar as características físicas de um circuito, a CPT define duas grandezas conservativas que são base para esse equacionamento: potência média e energia reativa média. O conceito de energia reativa ( $w$ ) foi estabelecido pela CPT com objetivo de representar o armazenamento de energia de um determinado sistema, já a energia útil é representada da forma tradicional pela equação de potência ativa ( $p$ ).

Considerando a utilização da CPT para análise de circuitos trifásicos, essa decomposição de corrente estabelece uma relação entre a potência ativa instantânea coletiva e a energia instantânea coletiva, bem como os seus valores médios. Assim sendo, os valores de tensão e corrente para cada fase são representados pelos vetores  $\underline{v}$  e  $\underline{i}$ , respectivamente.

### **Potência ativa**

A potência ativa instantânea coletiva trifásica é obtida de acordo com a potência instantânea de cada fase, isto é, da somatória desses valores. Assim, a potência ativa instantânea coletiva pode ser representada como o produto escalar dos vetores instantâneos de tensão e corrente.

$$p(t) = \underline{v}(t)\underline{i}(t) = \sum_{\mu=1}^3 v_{\mu}(t)i_{\mu}(t) \quad (4.11)$$

Assumindo como pressuposto a condição de operação periódica, o consumo médio de potência do circuito, representado pela realização de trabalho útil na carga, é definido como potência ativa coletiva ( $P$ ). A potência ativa coletiva é calculada com base na potência ativa média de cada fase, isto é, do produto interno dos valores médios dos vetores de tensão com a corrente.

A potência ativa média por fase é dada por:

$$P_{\mu} = \langle v_{\mu}, i_{\mu} \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T v_{\mu}(t)i_{\mu}(t)dt \quad (4.12)$$

Dessa maneira,  $P$  é definido como:

$$P = \langle \underline{v}, \underline{i} \rangle = \sum_{\mu=1}^3 \langle v_{\mu}, i_{\mu} \rangle = \sum_{\mu=1}^3 \frac{1}{T} \int_0^T v_{\mu}(t)i_{\mu}(t)dt = \sum_{\mu=1}^3 P_{\mu} \quad (4.13)$$

### **Energia reativa**

A energia reativa instantânea representa oscilações de energia oriundas da diferença de fase entre a tensão e a corrente, seja esta provocada por elementos armazenadores de energia ou por cargas não lineares. Para isso, a integral imparcial da tensão de fase e a corrente de fase são utilizados para determinar seu valor. Desse modo, a energia reativa instantânea coletiva trifásica é obtida de acordo com o produto escalar dos vetores instantâneos, ou ainda, a somatória dos produtos escalares de cada fase.

$$w(t) = \underline{\hat{v}}(t)\underline{\hat{i}}(t) = \sum_{\mu=1}^3 \hat{v}_{\mu}(t)\hat{i}_{\mu}(t) \quad (4.14)$$

Ainda com o pressuposto da condição de operação periódica, os reativos da rede são representados pela energia reativa coletiva ( $W$ ). A energia reativa coletiva é calculada com base na energia reativa média de cada fase, isto é, do produto interno dos valores médios dos vetores da integral imparcial da tensão com a corrente.

A energia reativa média por fase é dada por:

$$W_\mu = \langle \hat{v}_\mu, i_\mu \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{v}_\mu(t) i_\mu(t) dt \quad (4.15)$$

Dessa maneira,  $W$  é definido como:

$$W = \langle \hat{v}, i \rangle = \sum_{\mu=1}^3 \langle \hat{v}_\mu, i_\mu \rangle = \sum_{\mu=1}^3 \frac{1}{T} \int_0^T \hat{v}_\mu(t) i_\mu(t) dt = \sum_{\mu=1}^3 W_\mu \quad (4.16)$$

#### 4.2.2 Decomposição da corrente de fase

Os conceitos formalizados anteriormente são utilizados para realizar a decomposição das correntes de fase em parcelas ativa, reativa e residuais. Tais parcelas são ortogonais e estão relacionadas, de maneira unívoca, com os fenômenos físicos do circuito (PAREDES, 2011). Por conseguinte, o comportamento de elementos lineares e não lineares na carga afetam tais parcelas. Além disso, em circuitos trifásicos, as parcelas de corrente ativa e reativa são representadas como balanceadas e desbalanceadas, possibilitando a caracterização dos desbalanços de carga.

##### *Corrente ativa*

As correntes ativas de fase ( $i_{a\mu}$ ) são responsáveis pelo fluxo mínimo de potência ativa da fonte para carga em um circuito. A corrente ativa total de cada fase é definida como:

$$i_{a\mu} = \frac{\langle v_\mu, i_\mu \rangle}{|v_\mu|^2} v_\mu = \frac{P_\mu}{V_\mu^2} v_\mu = G_\mu v_\mu \quad (4.17)$$

em que  $G_\mu$  representa a condutância equivalente da fase.

A parcela balanceada de corrente ativa representa o fluxo mínimo de potência ativa coletiva da fonte para carga. Assim, considerando os vetores de tensão e corrente, a corrente ativa balanceada ( $i_{a\mu}^b$ ) é dada por:

$$i_{a\mu}^b = \frac{\langle \underline{v}, i \rangle}{|\underline{v}|^2} v_\mu = \frac{P}{V^2} \underline{v} = G^b \underline{v} \quad (4.18)$$

logo,  $G^b$  representa a condutância equivalente balanceada de todas as fases.

Considerando as parcelas de corrente ativa total e corrente ativa balanceada, a diferença entre tais parcelas resulta na corrente ativa de desbalanço  $i_{a\mu}^u$ , representando a parte ativa do desbalanço de carga.

$$i_{a\mu}^u = i_a - i_{a\mu}^b \quad (4.19)$$

### Corrente reativa

As correntes reativas de fase são responsáveis pelo fluxo mínimo de energia reativa de um circuito e não transportam potência útil (PAREDES, 2011). Diante disso, a presença de corrente reativa ocorre devido a elementos armazenadores de energia, bem como de circuitos defasadores de corrente, por exemplo, uma fonte chaveada. De modo geral, corrente reativa total ( $i_{r\mu}$ ) de cada fase é definida como:

$$i_{r\mu} = \frac{\langle \hat{v}_\mu, i_\mu \rangle}{|\hat{v}_\mu|^2} \hat{v}_\mu = \frac{W_\mu}{\hat{V}_\mu^2} \hat{v}_\mu = B_\mu \hat{v}_\mu \quad (4.20)$$

em que  $B_\mu$  representa a reatidade equivalente da fase.

A parcela balanceada de corrente reativa ( $i_{r\mu}^b$ ) representa o fluxo mínimo de energia reativa coletiva do circuito. Assim, considerando os vetores da integral imparcial da tensão e corrente, a corrente reativa balanceada é dada por:

$$i_{r\mu}^b = \frac{\langle \hat{v}, i \rangle}{|\hat{v}|^2} \hat{v}_\mu = \frac{W}{\hat{V}^2} \hat{v} = B^b \hat{v} \quad (4.21)$$

Assim, a parte reativa do desbalanço de carga ( $i_{r\mu}^u$ ) é determinado com base na diferença entre as parcelas de corrente reativa total e corrente reativa balanceada.

$$i_{r\mu}^u = i_r - i_{r\mu}^b \quad (4.22)$$

### Corrente residual

A parcela de corrente residual ( $i_d$ ) definida pela CPT representa de corrente que surge em circuito devido a presença de cargas não lineares e cargas lineares com tensões distorcidas, com exceção das cargas resistivas. A corrente residual é caracterizada por não transportar potência ativa ou energia reativa, portanto, seu valor é definido como sendo a diferença entre a corrente total e as parcelas ativa e reativa:

$$i_d = i - i_a - i_r \quad (4.23)$$

### ***Decomposição completa da corrente***

Em termos mais gerais, a corrente total ( $\underline{i}$ ) de cada fase do circuito pode ser calculada com base nas parcelas supracitadas. Por conseguinte, a corrente total de fase é dada por:

$$\underline{i} = \underline{i}_a^b + \underline{i}_a^u + \underline{i}_r^b + \underline{i}_r^u + \underline{i}_d \quad (4.24)$$

Similarmente, a corrente de desbalanço de fase ( $\underline{i}_u$ ) é determinada do seguinte modo:

$$\underline{i}_u = \underline{i}_a^u + \underline{i}_r^u \quad (4.25)$$

O fato de tais parcelas serem ortogonais possibilita que a corrente total RMS seja dada pela somatória do valor RMS de cada parcela de corrente. Assim, o valor eficaz coletivo é definido como:

$$\underline{I}^2 = \underline{I}_a^2 + \underline{I}_r^2 + \underline{I}_d^2 = \underline{I}_a^{b^2} + \underline{I}_r^{b^2} + \underline{I}_a^{u^2} + \underline{I}_r^{u^2} + \underline{I}_d^2 \quad (4.26)$$

Logo, a corrente é dada por:

$$\underline{I} = \sqrt{\underline{I}_a^{b^2} + \underline{I}_r^{b^2} + \underline{I}_a^{u^2} + \underline{I}_r^{u^2} + \underline{I}_d^2} \quad (4.27)$$

Esse calculo está ligado as correntes de fase do circuito. Desse modo, cada parcela representa a soma dos quadrados dessas correntes de fase.

### **4.2.3 Decomposição da potência do sistema**

Outra consequência importante da teoria é que para cada parcela de corrente existe uma parcela de potência associada (PAREDES, 2011). Essas associações, mais uma vez, estão relacionadas a fenômenos físicos distintos no circuito. De modo geral, o cálculo de cada parcela de potência depende diretamente do valor eficaz da tensão e o valor eficaz da parcela de corrente correspondente.

#### ***Potência ativa***

O consumo médio de potência de um circuito é definido como potência ativa (P), e sua unidade é Watt [W]. Essa componente está associada a parcela de corrente ativa balanceada, representando a realização de trabalho útil na carga (BOGILA, 2014).

$$P = VI_a^b [W] \quad (4.28)$$

Cabe ressaltar que  $P$  é uma quantidade conservativa e não depende da referência de tensão.

### **Potência reativa**

Todo fluxo de potência reativa em um circuito é definido como potência reativa ( $Q$ ), e sua unidade é Volt-Ampere [VA]. Essa componente está associada a parcela de corrente reativa balanceada, representando o deslocamento, entre tensões e correntes no circuito (BOGILA, 2014).

Em contraste com a energia reativa  $W$ , a potência reativa não é conservativa, pois é afetada pela frequência de linha e distorções das tensões.

$$Q = VI_r^b = V \frac{W}{\hat{V}} [VA] \quad (4.29)$$

### **Potência de desbalanço**

Considerando o caso de circuitos trifásicos desbalanceados a potência de desbalanço ( $N$ ) depende dos termos de potência ativa de desbalanço e da potência reativa de desbalanço.

Cabe ressaltar que essa parcela de potência é nula em sistemas monofásicos.

$$N = VI_r^b = V \sqrt{I_a^{u2} + I_r^{u2}} = \sqrt{N_a^2 + N_r^2} (VA) \quad (4.30)$$

### **Potência residual**

A potência residual ( $D$ ) representa as não linearidades entre as tensões e correntes, em geral provocadas por cargas não lineares. Portanto, não transporta potência ativa, nem energia reativa.

Cabe ressaltar que essa potência está associada a corrente residual do circuito.

$$D = VI_d (VA) \quad (4.31)$$

### **Potência aparente**

Tendo em vista a caracterização da potência total do sistema, o produto dos valores RMS de tensão e de corrente determina a potência da fonte de alimentação, denominada potência aparente ( $A$ ).

$$A = |v||i|(VA) \quad (4.32)$$

A potência aparente também pode ser expressada com base nos termos de potência supracitados. Em outras palavras, obtém-se a potência aparente a partir da soma quadrática de todas as parcelas de potência.

$$A^2 = P^2 + Q^2 + N^2 + D^2 \quad (4.33)$$

#### 4.2.4 Caracterização de cargas

Baseando-se nos termos de potência definidos na seção anterior, a CPT estabelece fatores de conformidade e de desempenho que possibilitam a caracterização das cargas. Tais fatores estão relacionados com cada parcela de potência especificada, indicando a contribuição das mesmas na condição de operação da rede, sendo esse último representado pelo fator de potência.

##### ***Fator de potência***

O fator de potência é definido a partir da relação estabelecida entre a potência ativa e a potência aparente.

$$\lambda = \frac{P}{A} = \frac{|i_a^b|}{|i|} \quad (4.34)$$

Do ponto de vista das correntes, o fator de potência é a razão entre a corrente ativa balanceada e a corrente coletiva total. Por conseguinte, o fator de potência será unitário somente quando a carga for puramente resistiva e balanceada, pois, caso contrário, a parcela de corrente ativa balanceada seria reduzida devido a presença de elementos armazenadores de energia, não linearidades da carga e desbalanços da carga. Isso está ligado, é claro, a redução do fator de potência.

##### ***Fator de não linearidade***

Como consequência da presença de corrente residual e, por conseguinte, da parcela de potência residual, o sistema é afetado por perdas de distribuição. Isso está relacionado ao fato de que a corrente residual não contribui para o transporte de potência ativa nem de energia reativa.

Assim, o fator de linearidade indica a presença de potência de distorção.

$$\lambda_d = \frac{D}{\sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + D^2}} = \frac{D}{A} = \frac{|i_d|}{|i|} = \frac{I_d}{I} \quad (4.35)$$

### ***Fator de assimetria***

Outra consequência da redução do fator de potência em um sistema trifásico é a questão do balanceamento de cargas. Exemplo disso é a distribuição assimétrica de cargas monofásicas entre as fases ou cargas trifásicas desequilibradas. Assim, o fator de assimetria indica a existência de desbalanço de cargas do circuito.

$$\lambda_U = \frac{N}{\sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + D^2}} = \frac{N}{A} = \frac{I_a^u + I_r^u}{I} \quad (4.36)$$

### ***Fator de reatividade***

Os reativos presentes na rede também exercem influência na redução do fator de potência. Pois, a defasagem entre tensões e correntes, bem como a presença de cargas não lineares, tem como consequência o aumento da parcela de corrente reativa.

Desse modo, o fator de reatividade é definido como:

$$\lambda_Q = \frac{Q}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{|i_r|}{\sqrt{|i_a|^2 + |i_r|^2}} = \frac{I_r^b}{\sqrt{I_a^{b2} + I_r^{b2}}} \quad (4.37)$$

## **4.3 Metodologia proposta**

Para realizar o monitoramento não intrusivo de cargas residenciais e, posteriormente, verificar informações sobre determinado equipamento, foi criado um protótipo do medidor cognitivo de energia. Os detalhes de construção e os algoritmos desenvolvidos serão apresentados no próximo capítulo.

Tendo em vista o reconhecimento de cargas de interesse para monitorar seu consumo de energia, faz-se necessário formar uma base de conhecimento que permita, principalmente, diferenciar as cargas de interesse de outros elementos. Diante disso, para classificação dos equipamentos foi criada uma base de dados que contém o universo de amostras suficientes para determinar fronteiras de classificação entre cada equipamento.

Em (SOUZA, 2016), cada amostra que representa um eletrodoméstico contém as seguintes informações: potência ativa (P), os fatores de potência ( $\lambda$  ou PF), reatividade ( $\lambda_Q$  ou QF) e não linearidade ( $\lambda_d$  ou VF). Esses indicadores são obtidos pela CPT a partir do processamento das formas de onda de tensão e corrente.

Neste trabalho, as informações coletadas a cada segundo foram:

- Potência ativa média;
- Fator de potência;
- Fator de reatividade;
- Fator de não linearidade;
- Valor eficaz da corrente;
- Valor eficaz das harmônicas ímpares (até a 19<sup>a</sup>) de corrente;

Para cada tipo de eletrodoméstico analisado uma classe foi atribuída. Assim, a base de dados é composta pelos seguintes elementos:

- Classe 1: Geladeira;
- Classe 2: Micro-ondas;
- Classe 3: Purificador de água;
- Classe 4: Notebook;
- Classe 5: Aparelho de som;
- Classe 6: Televisão LED;
- Classe 7: Liquidificador;
- Classe 8: Televisão LCD;
- Classe 9: Máquina de lavar roupas;
- Classe 10: Secador de cabelos;
- Classe 11: Lâmpada Fluorescente;
- Classe 12: Computador Desktop;
- Classe 13: Forno Elétrico;
- Classe 14: Monitor LCD-LED-Tubo;
- Classe 15: Lâmpada LED;
- Classe 16: Ferro de passar;

- Classe 17: Lâmpada Incandescente;
- Classe 18: Fritadeira Elétrica;
- Classe 19: Ar condicionado.

Para cada classe, um conjunto de equipamentos é monitorado durante um determinado período, sendo que a cada segundo os parâmetros indicados são registrados. Posteriormente, calcula-se a média de cada parâmetro durante um minuto de operação. Esses valores médios são utilizados para agregar informações na base de dados para classificação dos equipamentos. Com essas informações os equipamentos podem ser separados em espaços multidimensionais, em que as coordenadas representam os parâmetros selecionados.

Os equipamentos que ligam e desligam automaticamente com certo período são analisados durante 24 horas. Além disso, para esses equipamentos os dados armazenados correspondem somente ao momento de operação.

Assim, quando o medidor cognitivo está em operação a potência ativa é monitorada para verificar se houve alguma variação no consumo. Quando ocorre uma variação, informações são coletadas durante um período. Em seguida, essas informações coletadas são utilizadas para realizar a classificação de qual equipamento causou o evento.

### 4.3.1 Cargas residenciais de interesse

As seções a seguir tem o objetivo de apresentar os procedimentos padrões para determinação dos índices de eficiência energética dos equipamentos de interesse. Tais índices nortearão o uso das informações de consumo obtidas pelo sistema de monitoramento de cargas. Com essas informações é possível relacionar o consumo atual do equipamento monitorado e as especificações da ENCE. Embora esses índices sejam definidos em testes laboratoriais, em que o equipamento é submetido a procedimentos de teste em ambiente controlado, o consumo atual pode ser comparado ao padrão especificado. Assim, em casos que o consumo atual superar o estabelecido alguma ação de diagnóstico pode ser realizada. Pois, o consumo pode estar elevado devido a influência do ambiente de operação, degradação de peças, entre outros.

#### 4.3.1.1 Geladeiras

Como dito anteriormente, os índices de eficiência energética ( $I_e$ ) são definidos como a razão entre o consumo declarado ( $C$ ) e o consumo padrão ( $C_p$ ), conforme a equação 4.38.

$$I_e = \frac{C}{C_p} \quad (4.38)$$

No caso das geladeiras e congeladores, o consumo padrão está relacionado ao volume do equipamento (MDIC, 2006). Assim, o consumo padrão é determinado com relação ao volume ajustado (AV), conforme a equação 4.39.

$$Cp = a.AV + b \quad (4.39)$$

Assim, o consumo depende da categoria do equipamento. Nesse caso, os valores de a e b determinam a equação da reta de consumo padrão de cada categoria. Essa relação é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10 – Coeficientes da reta do consumo padrão (2005).

<b>Categoria</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
Refrigerador	0,0346	19,117
Combinado	0,0916	17,083
Combinado frost free	0,1059	7,4862
Congelador vertical	0,0211	39,228
Congelador vertical frost free	0,0178	58,712
Congelador horizontal	0,0758	13,095

Já o volume ajustado é calculado pela equação 4.40.

$$AV = Vr + \sum f.Vc \quad (4.40)$$

Em que, “Vr” é o volume do compartimento refrigerador em litros, “Vc” é o volume do compartimento congelador ou de sua seção segundo temperatura de classificação em litros. Cabe ressaltar que para modelos frost-free, tais parâmetros são multiplicados por 1,2 (MDIC, 2006). O fator “f” o valor equivalente a classificação de cada compartimento. Esse parâmetro varia conforme a quantidade de estrelas, sendo igual a 1,41 para uma estrela, 1,63 para duas estrelas e 1,85 para 3 estrelas (MDIC, 2006). Segundo (SALVADOR, 2013), o cálculo do fator “f” foi determinado considerando as temperaturas nominais “Tc” dos compartimentos internas do refrigerador (Tabela 11) em relação a temperatura ambiente. Nesse caso, a temperatura ambiente foi arbitrada como 32°C para o Brasil. O cálculo do fator “f” é mostrado na equação 4.41. Em que, “Tr” é a temperatura nominal do refrigerador, estabelecido como 5°C.

$$f = \frac{32 - Tr}{32 - Tc} \quad (4.41)$$

Tabela 11 – Classificação do refrigerador em número de estrelas.

Temperatura mais elevada obtida no compartimento congelador ou em sua seção (T <sub>c</sub> )	Temperatura nominal de classificação (°C)	Número de estrelas
T <sub>c</sub> > -6 °C	0	0
-12 °C < T <sub>c</sub> ≤ -6 °C	-6	1 (*)
-18 °C < T <sub>c</sub> ≤ -12 °C	-12	2 (**)
T <sub>c</sub> ≤ -18 °C	-18	3 (***)

#### 4.3.1.2 Condicionadores de ar

O coeficiente de eficiência energética (CEE) relaciona o efeito térmico (frigorífico) com o consumo de energia elétrica, sendo expresso em kJ/Wh ou em termos adimensionais (W/W). É importante destacar que o CEE determina a eficiência do aparelho como um todo e não somente do compressor no ciclo de refrigeração (SOUZA, 2010). Cabe ainda ressaltar que esse índice é determinado com o sistema operando em sua capacidade máxima (PESSOA; GHISI, 2015).

$$CEE = \frac{EF}{W_c} \quad (4.42)$$

Em que:

- *CEE*: coeficiente de eficiência energética.
- *EF*: efeito térmico, em Watts, kJ/h ou BTU/h.
- *W<sub>c</sub>*: potência nominal em Watts.

#### 4.3.1.3 Micro-ondas

Com a potência útil determinada por testes em laboratório, o cálculo da eficiência energética (*n*) é dado pela seguinte equação (MDIC, 2012):

$$n = 100 \cdot \frac{P \cdot (t_{total} - t_{aq})}{W_{in}} \quad (4.43)$$

Em que:

- *n*: eficiência energética, expresso em %.
- *P*: potência de saída de micro-ondas calculada, em Watts.

- $t_{total}$ : tempo total do ensaio, em segundos.
- $t_{aq}$ : tempo de aquecimento do magnétron, em segundos.
- $W_{in}$ : energia consumida durante o ensaio de determinação da potência de saída de micro-ondas (em Wh), incluindo a energia consumida durante o tempo de aquecimento da válvula magnétron.

De acordo com (ALMEIDA, 2016), o filamento do magnétron leva aproximadamente 2 segundos para aquecer e entrar em operação. Esse procedimento é chamado de partida fria, sendo utilizado em todos os fornos micro-ondas domésticos.

#### 4.3.1.4 Considerações sobre os indicadores

Embora relacione o consumo padrão do equipamento e seu índice de eficiência energética, os procedimentos citados não consideram os efeitos de degradação dos dispositivos utilizados. Assim, o consumo de energia pode sofrer variações durante o tempo de vida útil do equipamento.

Em um estudo realizado por (CARDOSO, 2008), foram avaliados os efeitos de temperatura ambiente e degradação de eficiência energética dos equipamentos como geladeiras e freezers domésticos. Segundo (CARDOSO, 2008), tais equipamentos sofrem desgastes ao longo da vida útil. Como consequência disso, o desempenho é reduzido e o consumo de energia aumenta. As principais causas dessa degradação são: vedação, isolamento, termostato e compressor. Assim, com base na pesquisa realizada o autor define que tais equipamentos começam a apresentar alteração de eficiência energética a partir de 5 anos. Entre 5 e dez anos a degradação pode chegar a 20%, tendo como principal causa o isolamento e a vedação. Para equipamentos mais velhos esse índice pode chegar a 60%, principalmente, por causa do compressor e do termostato.

Da mesma maneira, o desempenho dos condicionares de ar é alterado pela degradação de eficiência ao longo de sua vida útil (SOUZA, 2010). Como consequência disso, os equipamentos consomem mais energia. Os principais fatores que influenciam na redução de desempenho são: compressor, válvula de expansão, isolamento e termostato. Considerando que a vida útil desses equipamentos é de doze anos, o autor fez um levantamento junto a fabricantes determinando que após seis anos de operação até o final de sua vida útil a eficiência pode ser reduzida em 10% (SOUZA, 2010).

Considerando esses fatores, a base de conhecimento para classificação de cargas não deve ser mantida estática. Isto é, o consumo padrão de alguns equipamentos podem apresentar variações ao longo da vida útil, descaracterizando seus atributos classificadores. No entanto, essa condição não implica no erro de desagregação de consumo. A não ser

que a técnica de desagregação utilize informações estáticas para realizar a estimativa de consumo.

## 4.4 Conclusões Parciais

Tendo em vista a aplicação de técnicas de desagregação de consumo de energia elétrica, esse capítulo apresentou métodos para realizar tal procedimento. A metodologia proposta faz uso da Teoria de Potência Conservativa para obter atributos que permitem caracterizar uma carga. Com esses atributos, técnicas de reconhecimento de padrões e classificação podem ser aplicadas para reconhecer uma determinada carga. Além desses atributos, o monitoramento não intrusivo tem como objetivo desagregar o consumo de energia total em parcelas que correspondem ao consumo individual dos equipamentos. Para isso, a técnica de reconhecimento da assinatura de potência pode ser aplicada para auxiliar o procedimento de classificação das cargas.

Com base nessas informações, as cargas de interesse foram estudadas de forma detalhada. Assim, a metodologia proposta faz uso de uma base de dados que permite classificar tais cargas num universo finito de equipamentos testados. Dessa maneira, cada equipamento pode ser monitorado e seu consumo de energia comparado com o padrão especificado na ENCE. Além do consumo padrão, a etiqueta indica para cada equipamento o índice de eficiência energética.

Essas características possibilitam realizar diagnósticos sobre a operação de cada equipamento bem como sugestões para o consumidor. Tais aplicações foram descritas no capítulo anterior.

## 5 Proposta de medidor cognitivo residencial

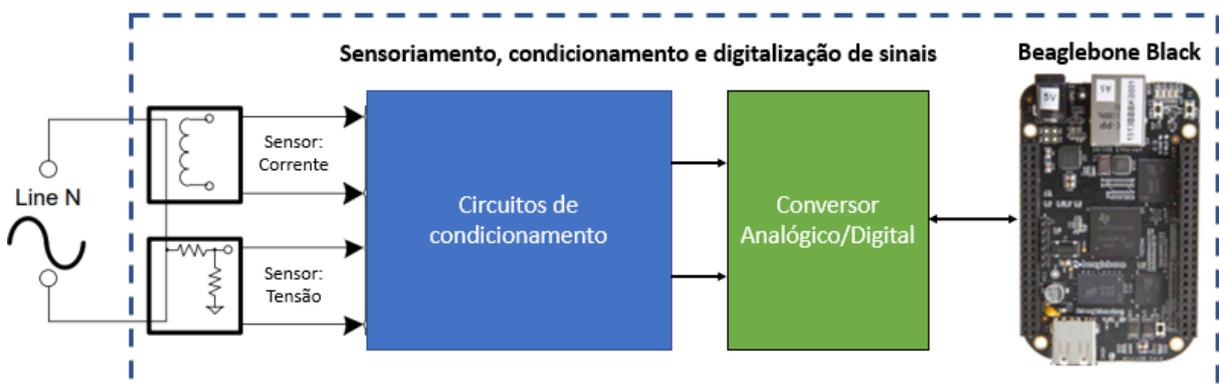
### 5.1 Caracterização do sistema

O modelo proposto é composto por um conjunto de hardware, software e sistemas de instrumentação. De modo geral, o protótipo pode ser dividido nos seguintes módulos: sensoriamento e condicionamento de sinais, módulo de conversão analógico—digital (A/D) e unidade de processamento, conforme ilustrado na Figura 15.

A unidade de sensoriamento e condicionamento dos sinais é utilizada para adequar as grandezas medidas. Isso se faz necessário, pois o circuito de conversão A/D opera com níveis específicos de tensão. Esses sinais são convertidos e transmitidos para unidade de processamento, que tem como tarefa processar e armazenar essas informações.

Para desenvolver o medidor foi escolhida a plataforma Beagle Bone Black (BBB). Um dos principais elementos presentes na BBB é a unidade de tempo real, que opera em paralelo com o processador, tendo acesso a sua memória interna e aos periféricos. Isso possibilita a criação de procedimentos que são executados paralelamente as aplicações executadas pelo sistema operacional. Nesse projeto, as unidades de tempo real foram utilizadas para coletar os dados do conversor A/D.

Figura 15 – Diagrama da plataforma desenvolvida.



Fonte: o próprio autor.

### 5.2 Descrição dos elementos de hardware

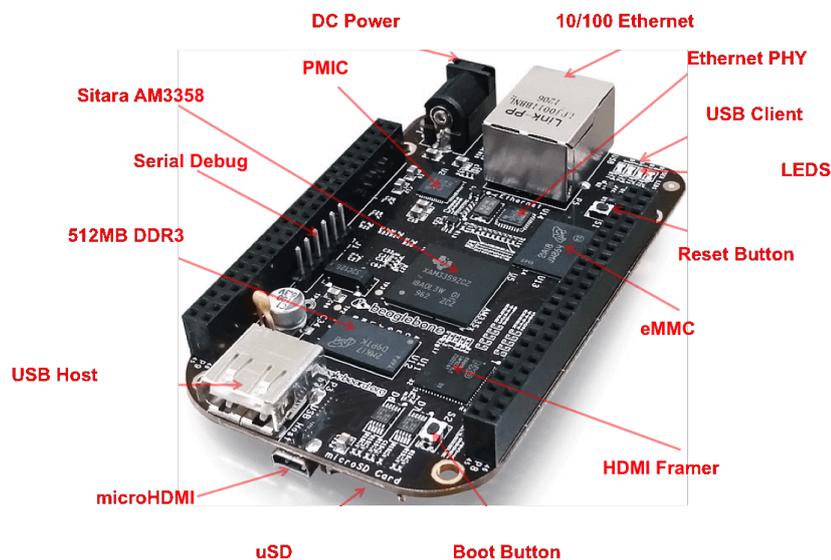
#### 5.2.1 Plataforma de desenvolvimento

Atualmente, a BBB é bem popular, principalmente devido ao baixo custo e suporte dado pela comunidade de desenvolvedores. Tal plataforma é mostrada na Figura 16 e suas

principais características são listadas abaixo:

- Processador Sitara AM3358 com Core ARM® Cortex-A8;
- Acelerador NEON com ponto flutuante integrado ao processador;
- Memória DRAM de 512MB DDR3L, Memória Flash eMMC 4GB 8-bit;
- Duas unidades programáveis de tempo real (PRU-ICSSs - RISC de 32-bits com clock de 200MHz);

Figura 16 – Plataforma de Desenvolvimento.



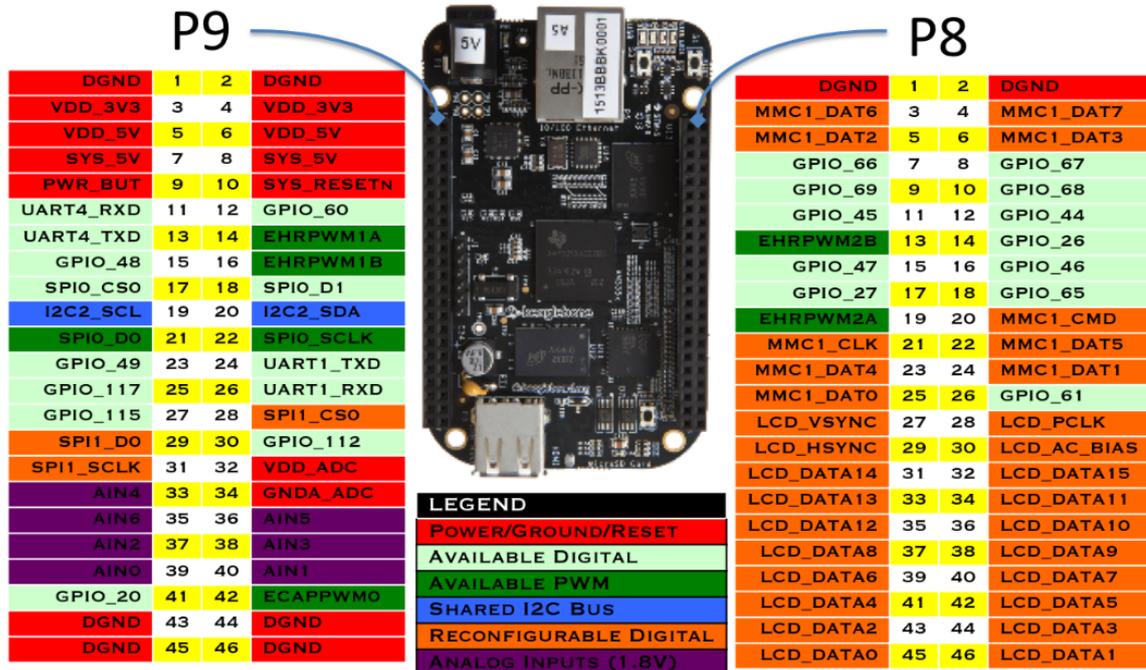
Fonte: beagleboard.org

Além disso, a BBB é rica em interfaces que possibilitam conectar uma variedade de dispositivos:

- USB Client e Host;
- Conector Ethernet para conexão de rede cabeada;
- Conector para vídeo tipo Micro HDMI;
- Possui dois barramentos de 46 pinos.

A disposição dos pinos de interface é ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Pinos disponíveis para conexão.



P9				P8			
DGND	1	2	DGND	DGND	1	2	DGND
VDD_3V3	3	4	VDD_3V3	MMC1_DAT6	3	4	MMC1_DAT7
VDD_5V	5	6	VDD_5V	MMC1_DAT2	5	6	MMC1_DAT3
SYS_5V	7	8	SYS_5V	GPIO_66	7	8	GPIO_67
PWR_BUT	9	10	SYS_RESETN	GPIO_69	9	10	GPIO_68
UART4_RXD	11	12	GPIO_60	GPIO_45	11	12	GPIO_44
UART4_TXD	13	14	EHRPWM1A	EHRPWM2B	13	14	GPIO_26
GPIO_48	15	16	EHRPWM1B	GPIO_47	15	16	GPIO_46
SPI0_CSO	17	18	SPI0_D1	GPIO_27	17	18	GPIO_65
I2C2_SCL	19	20	I2C2_SDA	EHRPWM2A	19	20	MMC1_CMD
SPI0_DO	21	22	SPI0_SCLK	MMC1_CLK	21	22	MMC1_DAT5
GPIO_49	23	24	UART1_TXD	MMC1_DAT4	23	24	MMC1_DAT1
GPIO_117	25	26	UART1_RXD	MMC1_DAT0	25	26	GPIO_61
GPIO_115	27	28	SPI1_CSO	LCD_VSYNC	27	28	LCD_PCLK
SPI1_DO	29	30	GPIO_112	LCD_HSYNC	29	30	LCD_AC_BIAS
SPI1_SCLK	31	32	VDD_ADC	LCD_DATA14	31	32	LCD_DATA15
AIN4	33	34	GND_ADC	LCD_DATA13	33	34	LCD_DATA11
AIN6	35	36	AIN5	LCD_DATA12	35	36	LCD_DATA10
AIN2	37	38	AIN3	LCD_DATA8	37	38	LCD_DATA9
AIN0	39	40	AIN1	LCD_DATA6	39	40	LCD_DATA7
GPIO_20	41	42	ECAPPWM0	LCD_DATA4	41	42	LCD_DATA5
DGND	43	44	DGND	LCD_DATA2	43	44	LCD_DATA3
DGND	45	46	DGND	LCD_DATA0	45	46	LCD_DATA1

LEGEND	
POWER/GROUND/RESET	
AVAILABLE DIGITAL	
AVAILABLE PWM	
SHARED I2C BUS	
RECONFIGURABLE DIGITAL	
ANALOG INPUTS (1.8V)	

Fonte: beagleboard.org

### 5.2.2 Condicionamento dos sinais analógicos

O condicionamento dos sinais é realizado por um circuito desenvolvido com a colaboração dos integrantes dos grupos de pesquisa GASI/UNESP de Sorocaba (Grupo de Automação e de Sistemas Integráveis) e da FEEC/UNICAMP (SOUZA, 2016). A função desse circuito (vide Anexo A) no sistema é adequar o nível de tensão gerado na saída dos sensores de tensão e corrente para as entradas do conversor A/D. As principais características desse circuito são listadas a seguir:

- Suporta até 4 sensores;
- Possui um sensor de temperatura integrado;
- Ajuste do valor máximo da saída analógico:
  - Automático - usa como referência o fundo de escala do conversor A/D ou o valor gerado pelo gerador de referência interno;
  - Offset fixo - metade do valor máximo, sendo independente para cada canal.
- Limitação dos valores máximos e mínimos de saída para proteção do conversor A/D;
- Ajuste de ganho para cada canal;

No desenvolvimento deste projeto de mestrado, foram utilizados os sensores LV25-P e LA25-P. Uma fonte de alimentação simétrica é necessária para fornecer os níveis de tensão +15V e -15V usados nos circuitos. Na Figuras 18a e 18b são mostradas as faces da placa de condicionamento dos sinais de tensão.

Figura 18 – Placa para condicionamento dos sinais de tensão.



(a) Sensores LV25-P.



(b) Visão frontal - Circuitos de condicionamento.

Fonte: o próprio autor.

Na Figura 19 é mostrada a placa de condicionamento dos sinais de corrente.

Figura 19 – Placa para condicionamento dos sinais de corrente - Sensores LA25-P.



Fonte: o próprio autor.

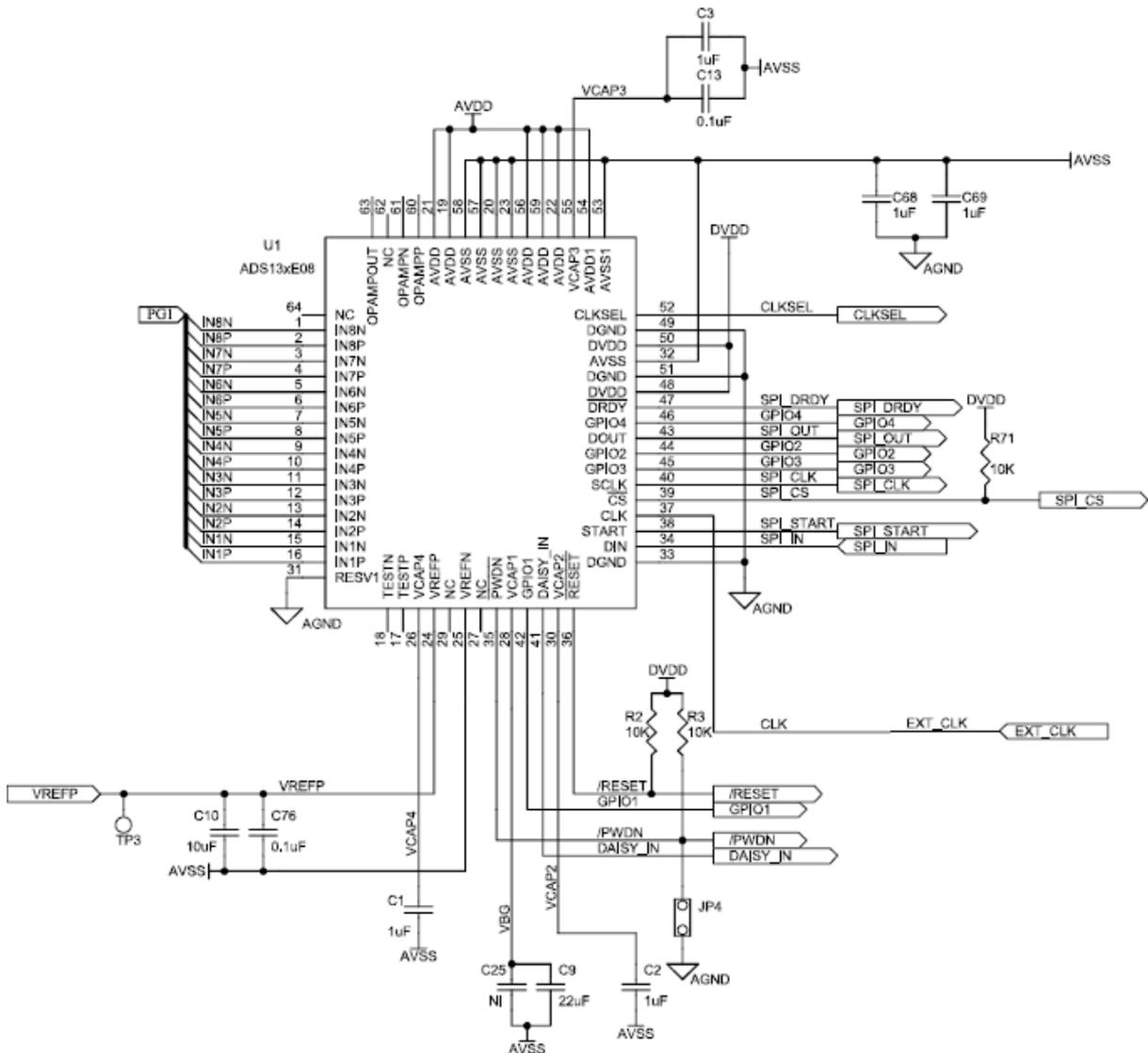
### 5.2.3 Conversor analógico/digital

O conversor analógico-digital ADS131E08S utilizado nesse projeto é da família ADS131E0x. Essa família de dispositivos é caracterizada por apresentar vários canais de conversão simultâneos do tipo delta-sigma ( $\Delta\Sigma$ ). Além disso, tal conversor possui resolução de 24 bits, referência de tensão interna, controle de ganho e oscilador interno. As principais aplicações desse conversor são da área de energia como: medição de sinais de tensão e corrente de fase, monitoramento, controle e proteção.

Em comparação com o trabalho desenvolvido por (SOUZA, 2016), o conversor A/D opera em modo diferencial com faixa de conversão entre +2.5V e -2.5V, e resolução de 24 bits. A frequência de conversão é determinada por um oscilador externo de 3,93216 MHz. Essa frequência é necessária para que a conversão de amostras durante um período seja uma potência de 2.

O diagrama do utilizado montado é mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Circuito do conversor A/D.



Fonte: datasheet da família ADS131E0x.

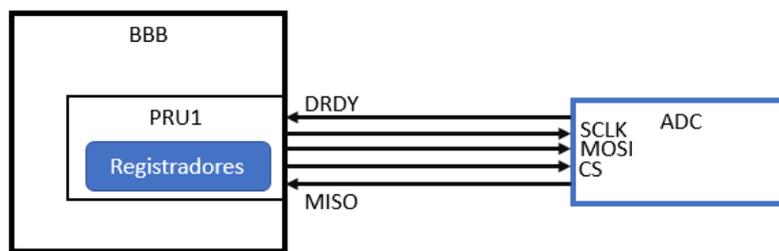
### 5.3 Aquisição de dados

Para a aquisição de dados, as unidades de tempo real são utilizadas de forma sincronizada. Nesse caso, uma unidade de tempo real (PRU1) é programada para transferir os dados do conversor AD para um buffer temporário. Para isso, a PRU1 controla os

pinos de entrada e saída digital (do inglês, input/output - I/O) da BBB para realizar a transferência de dados utilizando o protocolo de comunicação serial entre periféricos, denominado SPI (do inglês, Serial Peripheral Communication).

A comunicação SPI é caracterizada por apresentar dois sinais de controle, sendo um deles utilizado como sinal de sincronismo SCLK (do inglês, Serial Clock) e outro como sinal de seleção CS (do inglês, Chip Select). De acordo com o sinal SCLK, as informações são transferidas pelos pinos MISO (do inglês, Master Input / Slave Output) e MOSI (do inglês, Master Output / Slave Input). Isto é, ocorre transferência bidirecional entre os dispositivos. O protocolo de comunicação é ilustrado na Figura 21. No conversor AD, os sinais MISO e MOSI são indicados como DIN e DOUT, respectivamente.

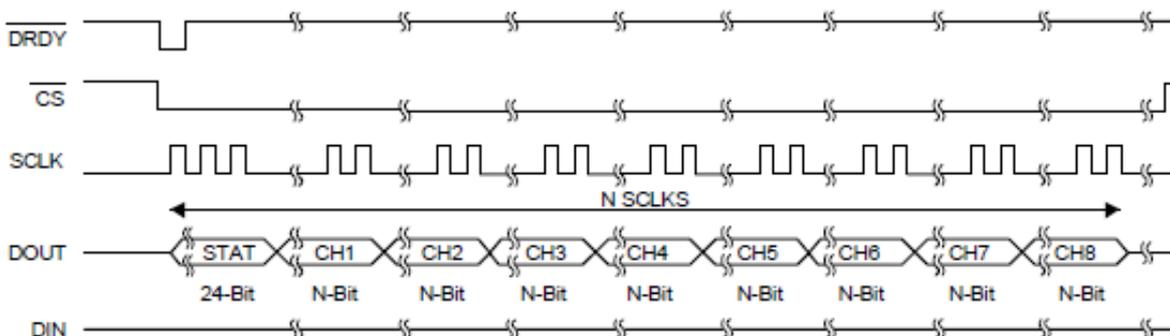
Figura 21 – Conexão entre a PRU1 e o conversor AD.



Fonte: o próprio autor.

Além da aquisição de dados, o mesmo protocolo é utilizado para configuração do conversor AD. Isto é realizado a partir de comandos de configuração. Assim, na inicialização da PRU1 o conversor AD é configurado para o modo de operação desejado. Após a configuração, o conversor AD entra em modo de operação contínuo, sendo monitorado a partir do sinal DRDY (Data Ready), que tem como função indicar quando uma amostra está disponível. Quando o conversor AD sinaliza o fim de uma conversão, os dados dos 8 canais mais a palavra de estados são transferidas para a PRU1. O diagrama de transferência é mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Leitura dos canais de conversão após a sinalização de uma amostra convertida.



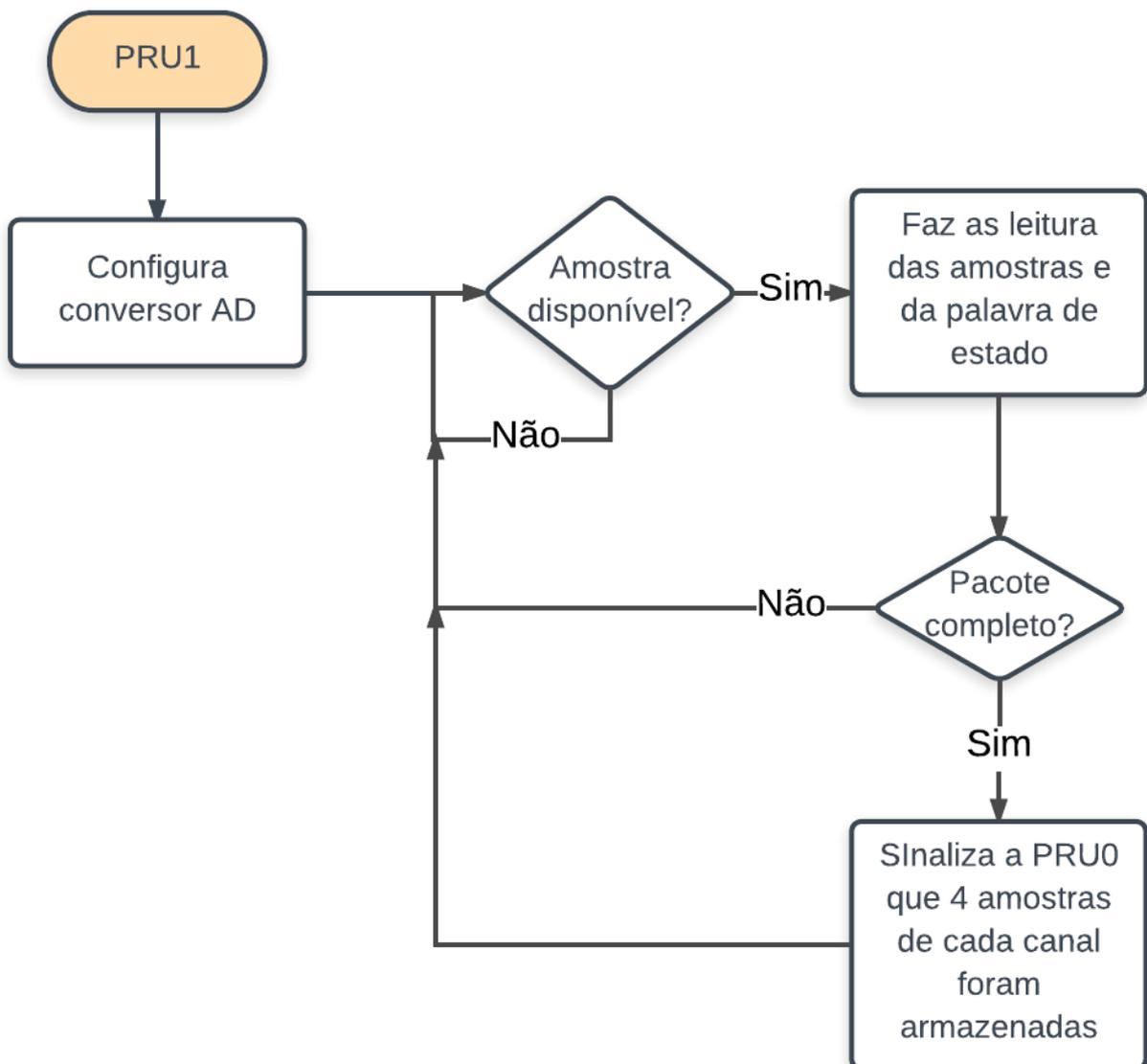
Fonte: datasheet da família ADS131E0x.

A transferência de dados é executada na PRU1 a partir de um procedimento responsável por capturar as amostras dos oito canais de conversão, totalizando 28 bytes. Tal procedimento é realizado 4 vezes, formando um pacote de dados com 4 amostras de cada canal.

Durante esse procedimento, os bytes que são transferidos do ADC para a PRU são armazenados em registradores. Todos os registradores envolvidos nesse processo estão localizados em região de memória compartilhada entre as unidades de tempo real, denominada scratch pad memory. Essa região possui instruções específicas para realizar transferência de dados entre as unidades de tempo real, facilitando a transferência de blocos de dados.

O procedimento executado pela PRU1 é apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxo de operações da PRU0.

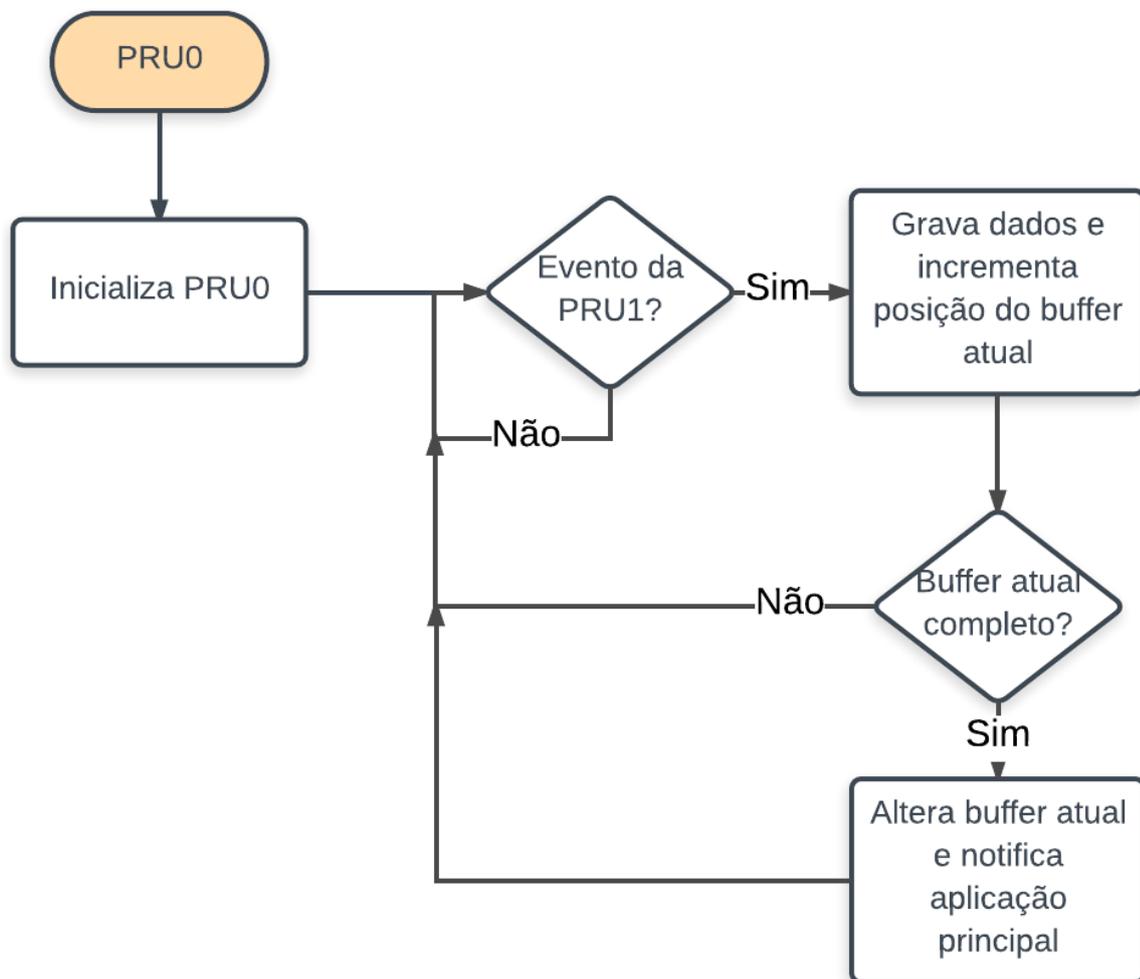


Fonte: o próprio autor.

Ao mesmo tempo, a outra unidade de tempo real (PRU0) monitora um evento de interrupção que é gerado pela PRU1, indicando que os dados foram capturados. Diante disso, a PRU0 copia os dados transferidos e armazena-os em outra região da memória.

Esse procedimento é repetido 3840 vezes, totalizando 15360 amostras por segundo para cada canal. Posteriormente, a PRU0 emite um sinal de interrupção que é capturado pela aplicação principal. O procedimento executado pela PRU0 é apresentado na Figura 24.

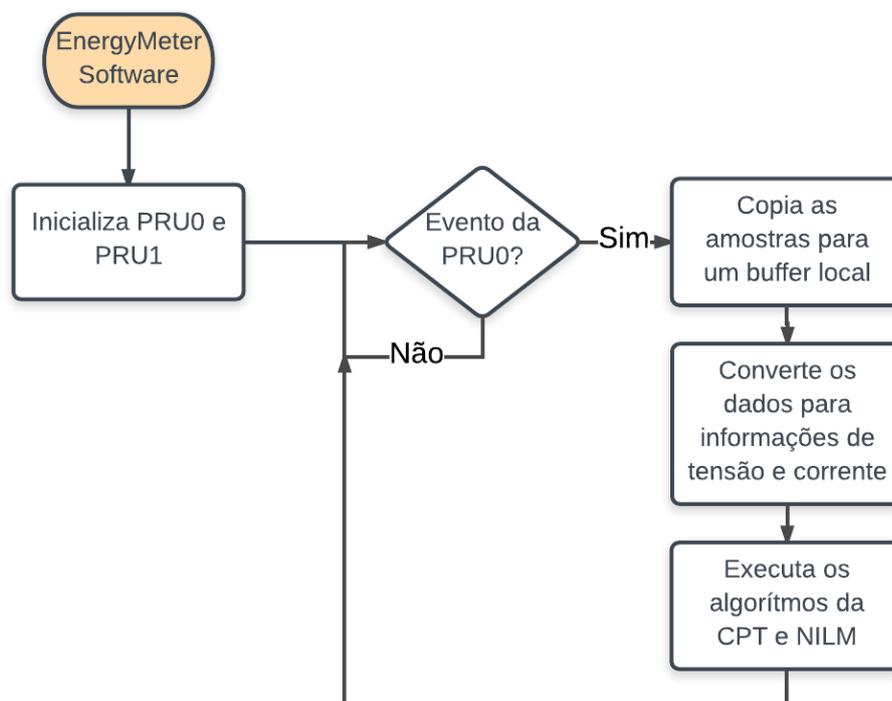
Figura 24 – Fluxo de operações da PRU0.



Fonte: o próprio autor.

Nesse ponto, a aplicação pode processar as informações enquanto as unidades de tempo real voltam a capturar as próximas amostras. Devido a taxa de aquisição e ao volume de dados, as unidades de tempo real utilizam uma região de memória compartilhada com a CPU. Para auxiliar nesse processo, uma estrutura de registros foi criada para garantir que o processamento dos dados pela CPU não seja interferido pela coleta de dados nas unidades de tempo real. Isto é, enquanto a unidade de tempo real escreve em um determinado buffer a CPU processa outro. Esse processo é mostrado na Figura 25.

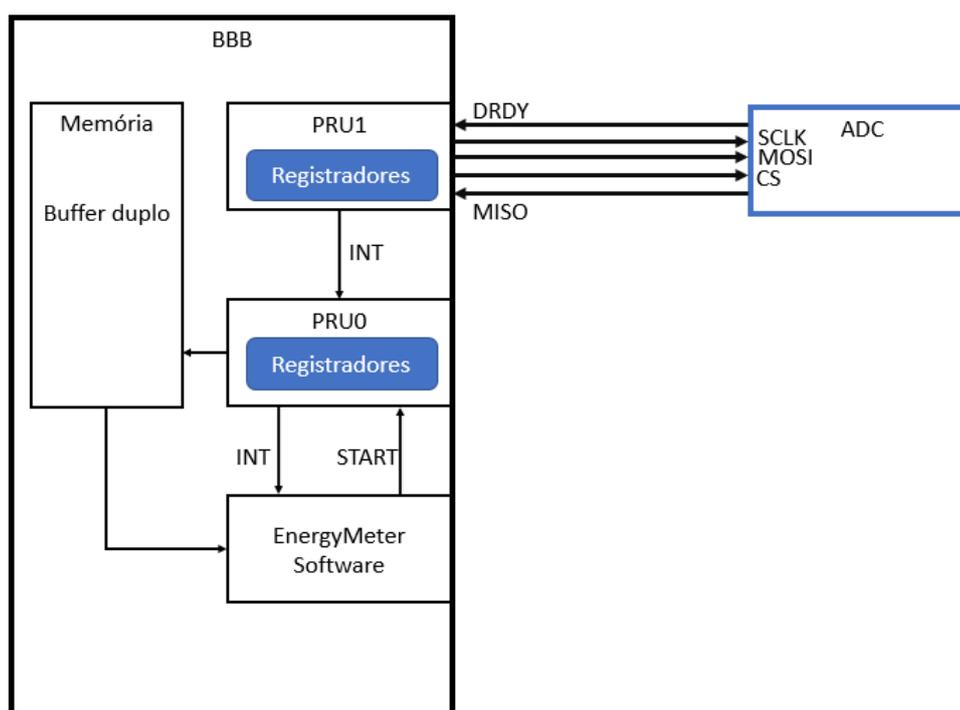
Figura 25 – Fluxo de operações da aplicação principal.



Fonte: o próprio autor.

Por fim, a arquitetura geral do sistema é ilustrada na Figura 26.

Figura 26 – Conexão entre os elementos do sistema.



Fonte: o próprio autor.

## 5.4 Algoritmos implementados

### 5.4.1 Procedimento de cálculo da CPT

Tendo em vista a aplicação da CPT para análise das cargas, desenvolveu-se um algoritmo para realizar todo procedimento matemático necessário conforme o equacionamento apresentado no capítulo 4.

**Data:** Amostras de Tensão  $V$ , Amostras de Corrente  $I$ , Quantidade de Amostras  $N$

**Result:** Decomposição da potência e corrente

```

for  $i \leftarrow 0$  to  $N - 1$  do
    //Cálcula valor RMS de tensão e corrente
    //Atualiza o valor da integral e integral imparcial
    UpdateVoltagesAndCurrents( $V[i]$ ,  $I[i]$ );
    //Cálcula potência ativa e energia reativa da fase
    UpdatePowerAndEnergy( $V[i]$ ,  $I[i]$ );
    //Realiza a decomposição da corrente
    CurrentDecomposition( $I[i]$ );
    //Cálcula os termos de potência
    PowerDecomposition();
    //Cálcula os indicadores
    EvaluateFactors();
end

```

**Algoritmo 1:** Procedimento de cálculo da CPT.

### 5.4.2 Algoritmo de Goertzel

Para o cálculo das componentes harmônicas utilizou-se o algoritmo de Goertzel. Assim como na transformada rápida de Fourier (FFT) e na transformada discreta (DFT), o algoritmo de Goertzel calcula as componentes do domínio da frequência.

Se a informação de fase não é necessária, tal algoritmo pode ser melhorado para diminuir a quantidade de operações. Nesse caso, a resposta do algoritmo para cada componente calculada é equivalente ao quadrado de sua magnitude.

De modo geral, o algoritmo de Goertzel implementa a DFT a partir da recursão de equações diferenciais. Para isso, a DFT é calculada como sendo a convolução de um sinal  $x(n)$  com uma janela  $h(n)$ . O sinal  $x(n)$  possui  $N$  pontos, enquanto a janela  $h(n)$  é equivalente a frequência  $W_n$ . Tal procedimento é mostrado abaixo.

**Data:** Amostras,  $N$ ,  $F$ ,  $F_s$

**Result:** Magnitude das componentes de frequência

$k = \text{floor}(0.5 + ((N * F) / F_s));$

$w = (2 * \pi / N) * k;$

$\text{coeff} = 2 * \cos(w);$

$V_2 = V_1 = 0;$

**for**  $i \leftarrow 0$  **to**  $N - 1$  **do**

$V_0 = (\text{coeff} * V_1) - Q_2 + x(i);$

$V_2 = V_1;$

$V_1 = V_0;$

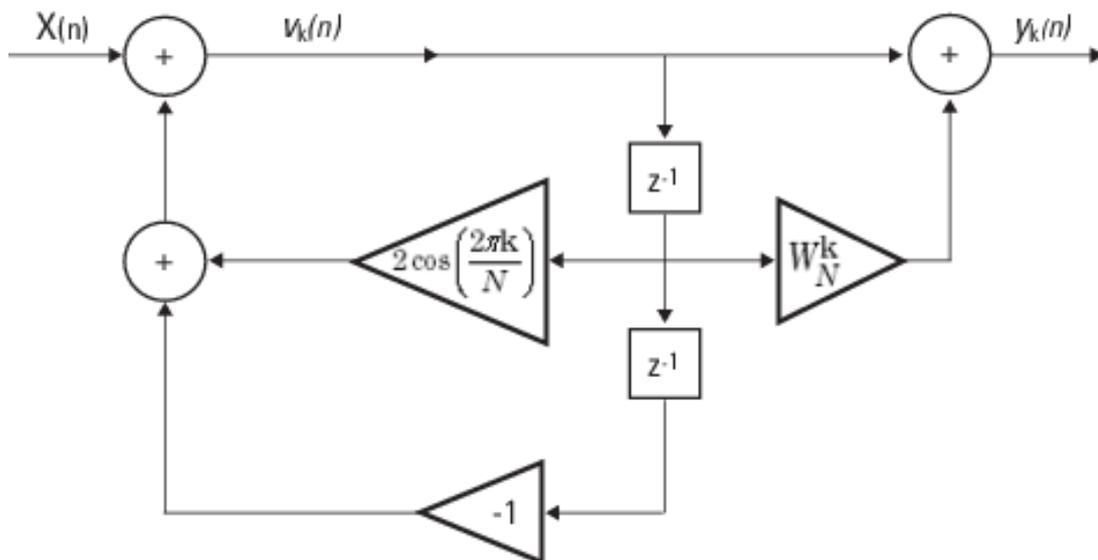
**end**

$\text{magnitude}^2 = V_1^2 + V_2^2 - V_1 * V_2 * \text{coeff};$

**Algoritmo 2:** Algoritmo de Goertzel adaptado para calcular somente a magnitude da fase.

O diagrama do algoritmo implementado é mostrado na Figura 27.

Figura 27 – Forma direta 2.



Fonte: <http://www.mathworks.com>

### 5.4.3 Algoritmo de classificação KNN

O algoritmo conhecido como KNN, criado por Hart e Cover (COVER; HART, 1967), é um classificador sub ótimo que não necessita de treinamento, portanto é um classificador não paramétrico. Tal abordagem também é conhecida como método de aprendizagem baseada em exemplos ou aprendizagem baseada em memória (RUSSELL; NORVIG, 2013). No algoritmo KNN, a classificação de uma amostra é realizada a partir da relação existente

entre a amostra e seus  $K$  vizinhos mais próximos, sendo os vizinhos previamente classificados (COVER; HART, 1967). Assim, dado uma amostra 'xq' o algoritmo pesquisa o conjunto de vizinhos mais próximos  $VP(k, xq)$ . Esse conjunto é utilizado para determinar a classe que aparece com mais frequência no conjunto de amostras. Além disso, 'k' é sempre um número ímpar para evitar casos de empate, isto é, conjuntos que contenham quantidades iguais de elementos de classes diferentes (RUSSELL; NORVIG, 2013).

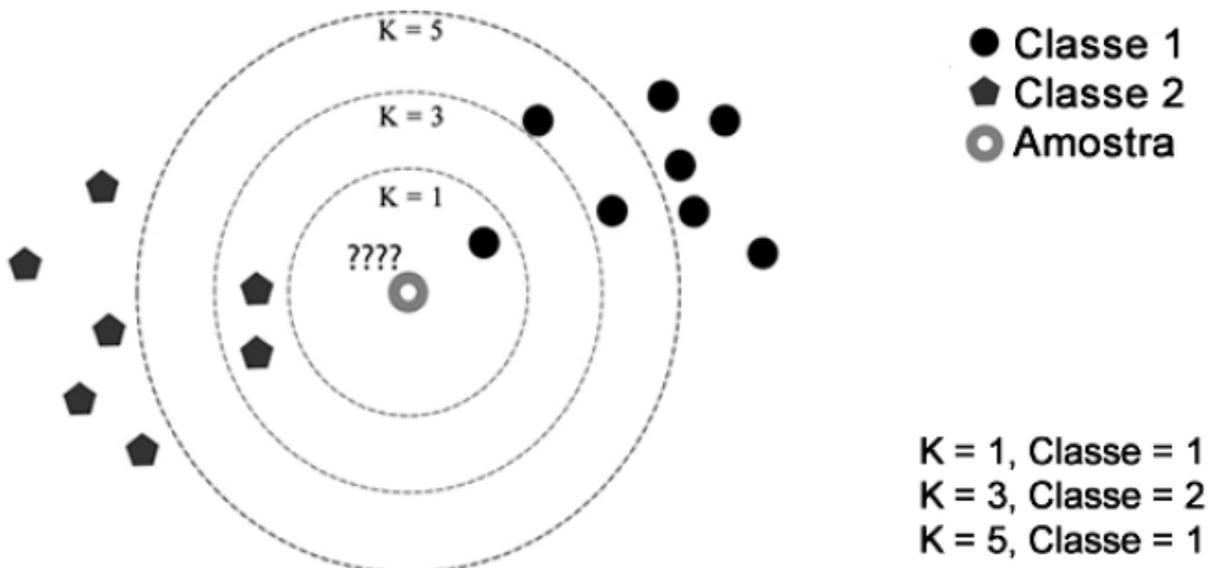
Como o problema implica em determinar o vizinho mais próximo, isso estabelece uma relação de distância entre os elementos (RUSSELL; NORVIG, 2013), podendo ser calculada usando a métrica euclidiana 5.1. Na equação, 'm' representa a quantidade de atributos do conjunto.

$$d(X, xq) = \sqrt{\sum_{\mu=1}^m (X_{\mu} - xq_{\mu})^2} \quad (5.1)$$

Diante disso, o algoritmo para  $k$  igual a 1, implica em encontrar o vizinho mais próximo entre todos de um conjunto ( $Z$ ). Para outros valores de  $k$ , a classe vencedora é a que aparece mais vezes entre os  $k$ -vizinhos mais próximos.

$$VP(k, xq) = \arg \min_{\forall X_i \in Z} (d(X_i, xq)) \quad (5.2)$$

Figura 28 – Exemplo de classificação de uma amostra utilizando o algoritmo KNN.



Fonte: (SOUZA, 2016)

No exemplo ilustrado, a amostra pertence a classe 1 para  $k$  igual a 1; classe 2, para  $k$  igual a 3; classe 1, para  $k$  igual a 5.

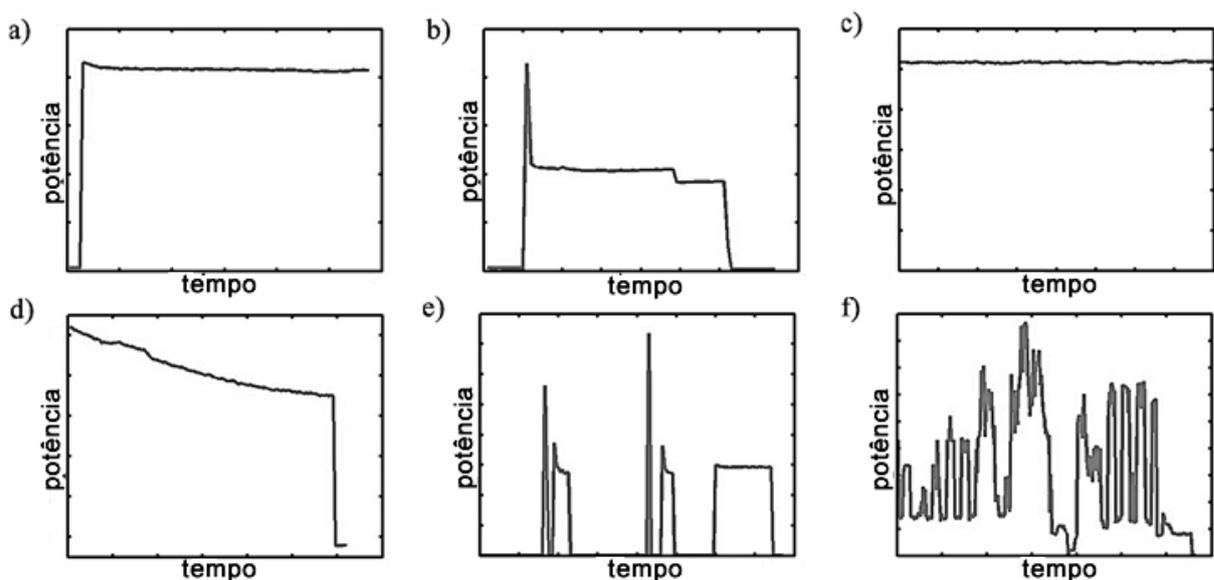
#### 5.4.4 Monitoramento de cargas

Para o desenvolvimento da técnica de monitoramento de cargas optou-se por analisar um quarto das amostras obtidas em um ciclo de execução do sistema (15360 amostras). Nesse processo, a potência ativa é monitorada tendo em vista a detecção de eventos que indiquem quando uma carga é ligada ou desligada.

Especificamente, tais eventos são caracterizados por apresentar uma transição entre dois segmentos de dados (amostras de potência ativa) contíguos e consecutivos. Contudo, nem toda mudança indica, definitivamente, uma carga sendo ligada ou desligada. Pois, alguns equipamentos apresentam consumo variável.

Na Figura 29 é mostrado o comportamento de 6 tipos de cargas.

Figura 29 – Padrões de consumo para diferentes cargas.



Fonte: (SOUZA, 2016)

Assim, considerando que um evento representa uma mudança no consumo de potência ativa, determinou-se um valor limiar. Isso é necessário para que o algoritmo possa identificar alterações provenientes de ruídos intrínsecos do sistema de aquisição. Sabendo disso, qualquer variação maior que o valor estabelecido pode representar um evento. No entanto, o consumo de um equipamento pode oscilar em torno de um valor médio, sendo que a oscilação pode ser maior que o valor limiar.

Para tratar esses casos, desenvolveu-se um algoritmo para detectar as oscilações. Tal condição é obtida com duas amostras de atraso, verificando sua diferença com valores anteriores e posteriores. Assim, obtém-se como resultado indicadores de picos positivos e negativos.

```

Data: P (potência ativa), N=4
begin
  Panterior = Janela[0];

  for  $i = 0; i < (N-1); i++$  do
    | Janela[i] = Janela[i+1];
  end

  Janela[N-1] = P;

  PicoNegativo1 = Janela[N/2-1] - Panterior;
  PicoNegativo2 = Janela[N/2-1] - Janela[N-4];

  PicoPositivo1 = Janela[N/2-1] - Janela[N-2];
  PicoPositivo2 = Janela[N/2-1] - Janela[N-1];
end

```

**Algoritmo 3:** Procedimento para verificar eventos.

Tais indicadores são comparados com valores limiares, definindo se o processo de monitoramento deve ser iniciado.

```

Data: P (potência ativa)
if Estado 0 then
  | if Picos Positivos e Negativos, contíguos e consecutivos then
  | | Estado = Estado 0;
  | else
  | | if Picos Positivos maiores que o limiar then
  | | | Estado = Estado 1;
  | | else
  | | | if Picos Negativos maiores que o limiar then
  | | | | Estado = Estado 2;
  | | | else
  | | | | Estado = Estado 3;
  | | | end
  | | end
  | end
end

```

**Algoritmo 4:** Procedimento para verificar se ocorreu algum evento.

De modo geral, todo pico detectado tem o tempo registrado. Durante esse procedimento a potência é monitorada e, se permanecer estável durante determinado período, o evento é validado. Esse procedimento é mostrado abaixo.

```

Data: Picos positivos, Picos negativos, Estado atual
if Estado 1 then
  if PicoPDetectado = falso then
    | PicoPDetectado = verdadeiro
  else
    | //Verifica possibilidade de uma nova carga mudar de estado
    | CargaLigada();
  end

  //Inicia procedimento para aguardar estabilização Estado = Estado 3;
else
  if Estado 2 then
    if PicoNDetectado = falso then
      | PicoNDetectado = verdadeiro
    else
      | //Verifica possibilidade de uma nova carga mudar de estado
      | CargaDesligada();
    end

    //Inicia procedimento para aguardar estabilização
    Estado = Estado 3;
  end
end

```

**Algoritmo 5:** Procedimento para iniciar o monitoramento.

Cabe ressaltar que enquanto a estabilização é aguardada outro evento pode acontecer. Considerando isso, o algoritmo faz uma verificação para identificar se outra carga está mudando de estado. Se essa condição é verdadeira, a estabilização atual é encerrada e outro processo é iniciado.

O procedimento de estabilização após a detecção de uma transição é mostrado abaixo. Nesse estado, a cada iteração do procedimento de monitoramento uma variação temporizadora é incrementada. Ao atingir o tempo de estabilização, o procedimento para adicionar ou remover uma carga do processo é executado.

**Data:** Picos positivos, Picos negativos, Estado atual

**if Estado 3 then**

**if PicoPDetectado = verdadeiro then**

**if TempoLigado < Testab then**

            TempoLigado++;

**else**

            CargaLigada();

**end**

**end**

**if PicoNDetectado = verdadeiro then**

**if TempoDesligado < Testab then**

            TempoDesligado++;

**else**

            CargaDesligada();

**end**

**end**

    //Finaliza procedimento de estabilização e retorna para o estado inicial

    Estado = Estado 0;

**end**

**Algoritmo 6:** Procedimento para estabilização dos eventos.

Se mais de uma carga está presente no sistema, a carga que gerou o evento deve ser analisada desconsiderando as demais. Isso é realizado fazendo a diferença entre a forma de onda da corrente no instante de detecção com a registrada no último evento. Com a forma de onda resultante, o algoritmo da CPT pode ser executado somente para o período analisado, resultando numa aproximação da carga que gerou o evento.

Quando o consumo de potência ativa está estabilizado e nenhuma carga foi detectada, o procedimento é reiniciado. Essa condição pode ocorrer quando um evento de carga ligada não é detectado. Outra situação é quando o consumo de potência ativa é menor que o limiar e o sistema indica que uma ou mais cargas estão ligadas. Nesse caso, as cargas são removidas do processo de monitoramento.

Por fim, as informações de tempo marcadas em cada evento são usadas para identificar o período de operação do equipamento. Sabendo disso, o modelo de comportamento da carga (Figura 29) pode ser utilizado para estimar o consumo de energia para um determinado período. Tal procedimento é chamado desagregação de consumo de energia por cargas.

### 5.4.5 Desagregação do consumo de energia

A abordagem empregada para realizar a desagregação do consumo é a seguinte: quando um evento de carga ligada é detectado, inicia-se um processo para armazenar o valor médio de potência a cada segundo. Se outro evento é detectado, verifica-se se a carga foi desligada ou se outra carga foi ligada.

Para a primeira situação — em que a carga é desligada — o processo que está registrando o consumo é encerrado, formando um bloco de amostras de potência ativa durante um determinado período. Nesse caso, o bloco é atribuído a carga que foi classificada durante o período e a energia consumida é calculada.

Para a segunda situação — em que outra carga é ligada — as amostras armazenadas até o momento do segundo evento formam um bloco que é atribuído para a carga classificada no período. Esse bloco é mantido para análise posterior. Enquanto isso, as amostras de potência ativa continuam sendo armazenadas até que ocorra outro evento.

De modo geral, qualquer evento de carga ligada causará a formação de um novo bloco. Com isso, o bloco estará associado a uma ou mais cargas. Considerando tal procedimento, a desagregação será realizada somente quando um evento de carga desligada for detectado. Então, o consumo desagregado é calculado considerando todos os blocos associados a carga que foi desligada.

Para os blocos que estão associados com mais de uma carga, a potência média e a assinatura de carga são levados em consideração. Para tal, essas informações são registradas e atualizadas durante a formação dos blocos.

Por fim, cabe ressaltar que a metodologia proposta para desagregação foi desenvolvida utilizando um banco de dados no próprio sistema, facilitando a manipulação das informações e a integração com o sistema de monitoramento de eventos.

## 5.5 Sistema supervisório

Para apresentar as informações obtidas, criou-se um sistema de gerenciamento de consumo. Como destacado, as informações de consumo desagregado são as que possibilitam maior redução de consumo. Sabendo disso, optou-se por disponibilizar informações referentes ao próprio dia, sendo atualizadas sempre após a operação de um eletrodoméstico.

No modelo proposto, as seguintes funções foram implementadas — visualização do consumo desagregado, características de operação para cada carga monitorada, perfil de consumo diário e relatório de operação das cargas de interesse.

O sistema é mostrado na Figura 30. A interface apresentada é uma página WEB e as informações apresentadas são definidas a partir de consultas em um banco de dados.

Figura 30 – Sistema supervisorio — Interface com o usuário.

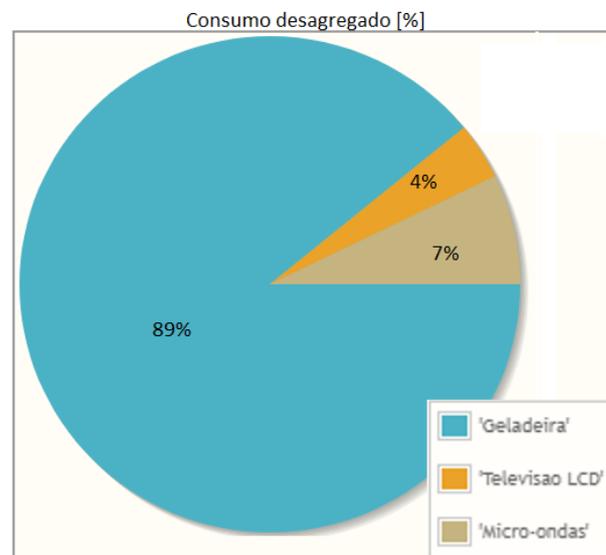


Fonte: o próprio autor.

### *Consumo desagregado*

Nesta função foi explorada a exibição de informações de consumo desagregado sem mencionar termos específicos. Assim, é apresentada percentualmente a parcela de participação dos eletrodomésticos no consumo total mensurado no dia. Cabe destacar que essas informações são atualizadas a cada evento detectado.

Figura 31 – Consumo desagregado apresentado percentualmente.

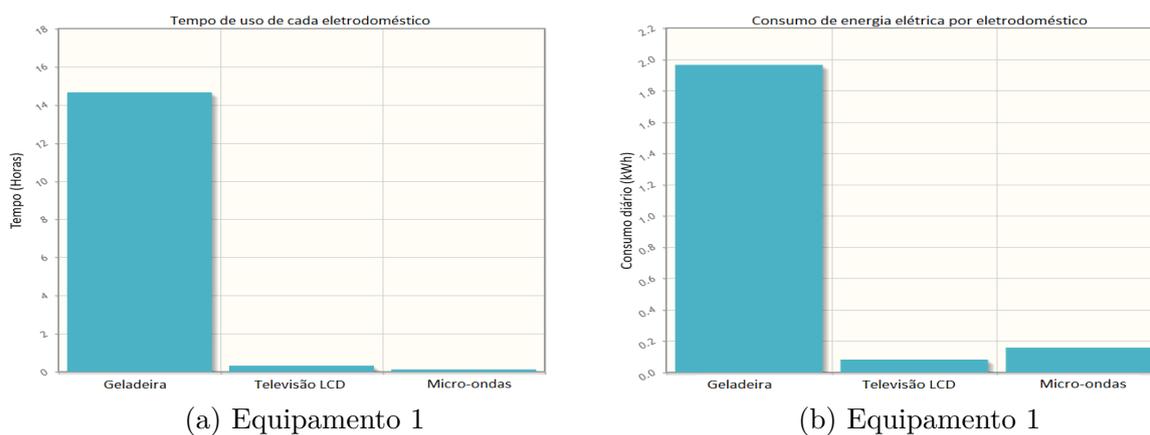


Fonte: o próprio autor.

### Relatório diário

No relatório diário são apresentadas informações sobre tempo de uso (em horas) e consumo (em kWh). Tais informações são apresentadas para cada equipamento monitorado e também são atualizadas a cada evento detectado.

Figura 32 – Consumo desagregado em kWh e tempo de uso dos eletrodomésticos.

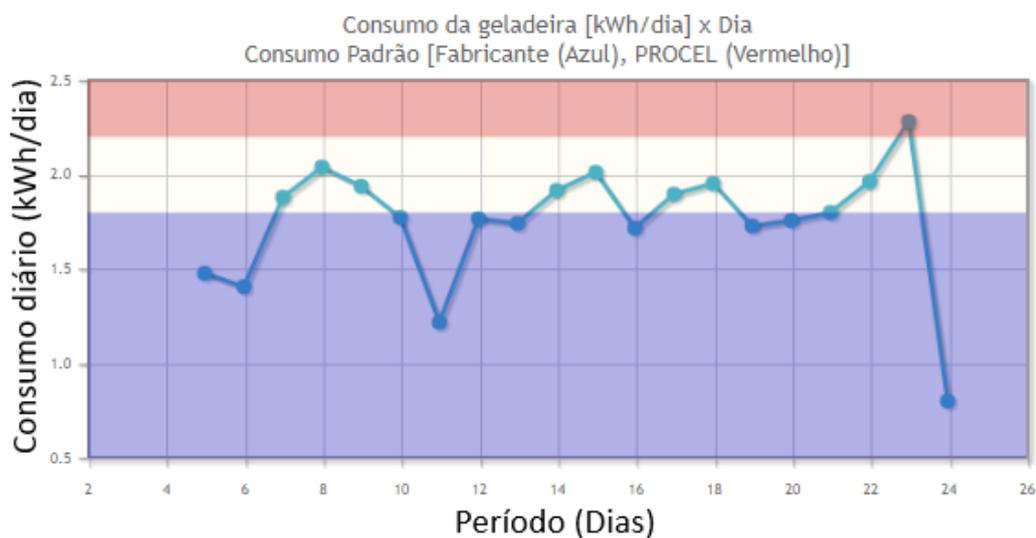


Fonte: o próprio autor.

### Relatório de operação

O relatório de operação compara o consumo desagregado dos eletrodomésticos de interesse com consumo padrão especificado na ENCE. Tais informações também são utilizadas para gerar sugestões e recomendações.

Figura 33 – Supervisão do consumo das cargas de interesse.

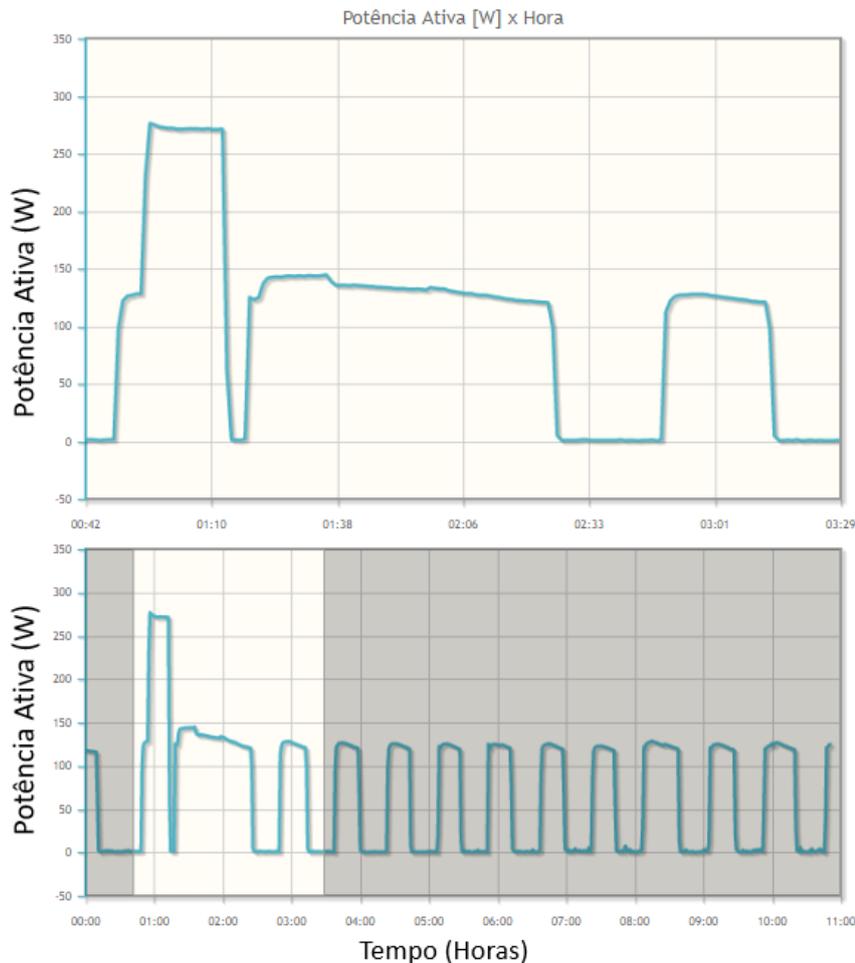


Fonte: o próprio autor.

### Perfil de carga

Essa função apresenta o consumo total da residência durante o dia. Com isso, torna-se possível visualizar a variação de consumo ao longo do dia.

Figura 34 – Variação do consumo de potência ativa.



Fonte: o próprio autor.

## 5.6 Conclusões Parciais

As técnicas e metodologias apresentadas neste capítulo, bem como sua implementação, evidenciam que medidores digitais podem executar aplicações em prol da eficiência energética. Tal proposta se diferencia do modelo conceitual do medidor inteligente destacado na literatura. Assim, o medidor é denominado cognitivo, indicando novas funções e aplicações para o consumidor residencial.

Com a montagem do protótipo, a metodologia apresentada no capítulo 4 pôde ser implementada. Diante disso, o medidor foi utilizado para coletar informações sobre a

---

operação individual de cada equipamento, tendo como objetivo a criação de uma base de dados para ser utilizada na etapa de classificação de cargas.

Utilizando os algoritmos propostos para monitoramento de cargas, os eventos que ocorrem quando uma carga é ligada ou desligada são detectados. Nesse contexto, o medidor consegue identificar qual carga gerou tal evento consultando o banco de dados. Uma vez que os eventos são registrados e as cargas são classificadas, o consumo de energia é desagregado. Isto é, sabendo o tempo em as cargas permaneceram ligadas, bem como seu modo de operação, estima-se o consumo utilizando a técnica de desagregação por blocos.



## 6 Resultados e Discussões

### 6.1 Coleta de dados

Para criação da base de dados inicial do medidor cognitivo, diversos eletrodomésticos foram analisados durante um determinado período de operação.

De modo geral, equipamentos que apresentam variações de consumo durante a operação foram testados por períodos maiores. Por exemplo, a geladeira foi monitorada durante 24 horas. Já o aparelho de micro-ondas, durante poucos minutos. Isso é necessário para obter informações sobre todos os estágios de operação do eletrodoméstico.

Após o procedimento de teste, os valores médios obtidos de cada parâmetro — minuto a minuto — foram inseridos em uma base de dados. Como resultado, obteve-se um conjunto de amostras utilizadas para classificação de cargas.

Os equipamentos analisados e os resultados obtidos são apresentados nas seções seguintes.

#### 6.1.1 Classe 1: Geladeira

Para classe 1, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Brastemp Duplex Frost-Free BRM47;
2. Electrolux Frost-Free DF45;
3. Consul Facilite Frost-Free;
4. Brastemp Frost-Free BRM50NBANA.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Classe 1: Potência Ativa e Fator de Potência - Compressor ligado.

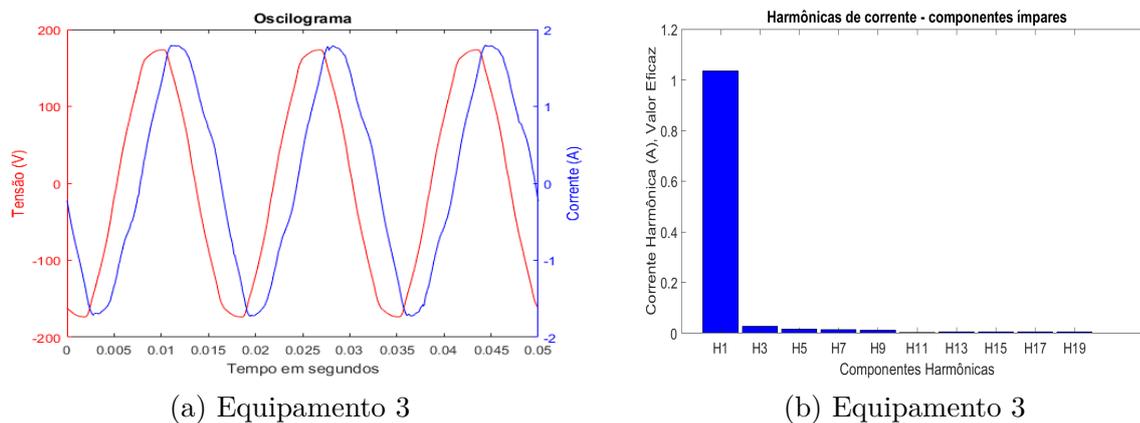
Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	52.894	127.258	148.055	0.524	0.553	0.609
2	53.416	134.564	149.990	0.464	0.519	0.723
3	61.021	91.034	113.866	0.409	0.608	0.894
4	60.538	120.903	147.248	0.062	0.862	0.901

Tabela 13 – Classe 1: Fator de reatividade e não linearidade - Compressor ligado.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.319	0.826	0.851	0.075	0.090	0.675
2	0.137	0.838	0.872	0.071	0.103	0.745
3	0.192	0.789	0.845	0.071	0.096	0.514
4	0.062	0.862	0.901	0.049	0.068	0.405

De modo geral, o mesmo comportamento foi verificado em todas as amostras analisadas. Na figura 35a é mostrado o deslocamento entre a corrente e tensão quando o compressor está ligado e a média das harmônicas de corrente para todo período de operação.

Figura 35 – Classe 1: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



(a) Equipamento 3

(b) Equipamento 3

Fonte: o próprio autor.

Cabe ressaltar que os modelos analisados possuem sistema de degelo, o qual quando em operação aciona uma carga resistiva. Observou-se também que o compressor é desligado sempre que o sistema de degelo é ligado.

Isso pode ser visto nas tabelas 14 e 15 em que o fator de potência é unitário, ou pelo fator de reatividade próximo de zero.

Tabela 14 – Classe 1: Potência Ativa e Fator de Potência - Sistema de degelo.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	236.180	270.131	278.731	0.945	0.998	1.000
2	265.571	280.069	287.128	1.000	1.000	1.000
3	121.732	123.808	128.248	0.996	0.996	0.997
4	205.382	213.606	218.688	0.980	0.999	1.000

Tabela 15 – Classe 1: Fator de reatividade e não linearidade - Sistema de degelo.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.006	0.008	0.037	0.020	0.026	0.125
2	0.002	0.002	0.002	0.017	0.018	0.019
3	0.045	0.046	0.046	0.069	0.071	0.072
4	0.006	0.007	0.026	0.018	0.022	0.058

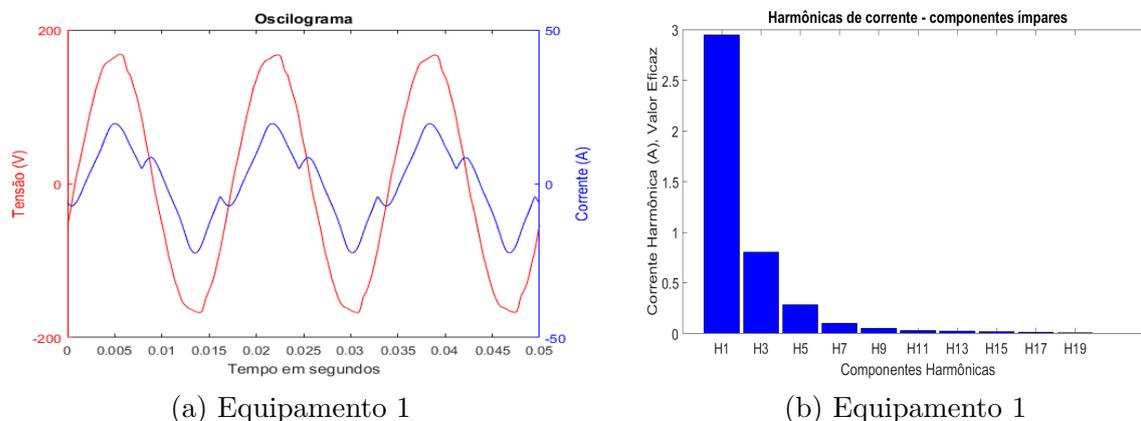
### 6.1.2 Classe 2: Micro-ondas

Para classe 2, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Panasonic Flat Style;
2. Brastemp Ativel.

O oscilograma de tensão e corrente para o forno de micro-ondas em operação é mostrado na Figura 36.

Figura 36 – Classe 2: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médio, máximo e mínimo dos parâmetros analisados para os equipamentos são exibidos nas tabelas 16 e 17. Cabe ressaltar que esses dados representam somente o momento em que o micro-ondas está na potência máxima.

Tabela 16 – Classe 2: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	1364.977	1385.261	1402.469	0.909	0.919	0.928
2	1241.105	1432.780	1474.853	0.742	0.856	0.867

Tabela 17 – Classe 2: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.228	0.258	0.293	0.302	0.308	0.311
2	0.304	0.321	0.523	0.414	0.428	0.501

### 6.1.3 Classe 3: Purificador de água

Para classe 3, foi analisado o seguinte equipamento:

#### 1. Purificador IBBL FR600 Speciale.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para o equipamento são exibidos nas tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Classe 3: Potência Ativa e Fator de Potência.

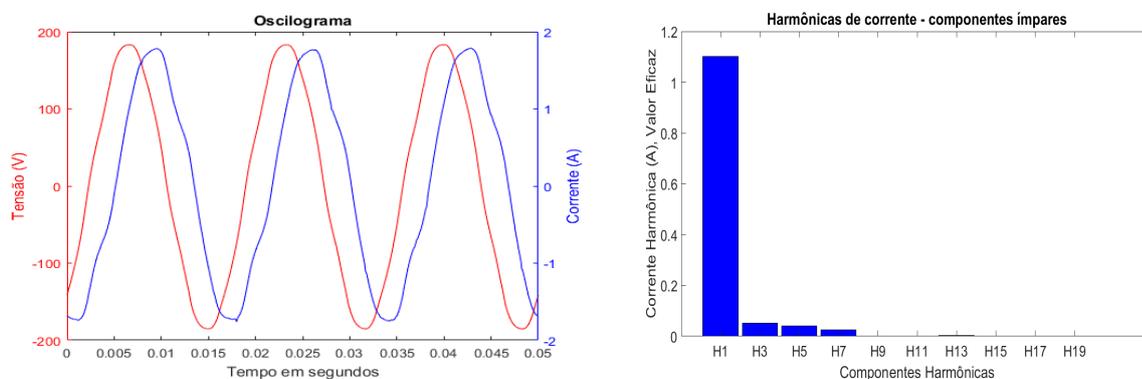
Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	80.840	86.306	103.519	0.509	0.534	0.607

Tabela 19 – Classe 3: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.792	0.845	0.860	0.057	0.072	0.083

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para o equipamento testado são mostrados na Figura 37.

Figura 37 – Classe 3: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



(a) Equipamento 1

(b) Equipamento 1

Fonte: o próprio autor.

### 6.1.4 Classe 4: Notebook

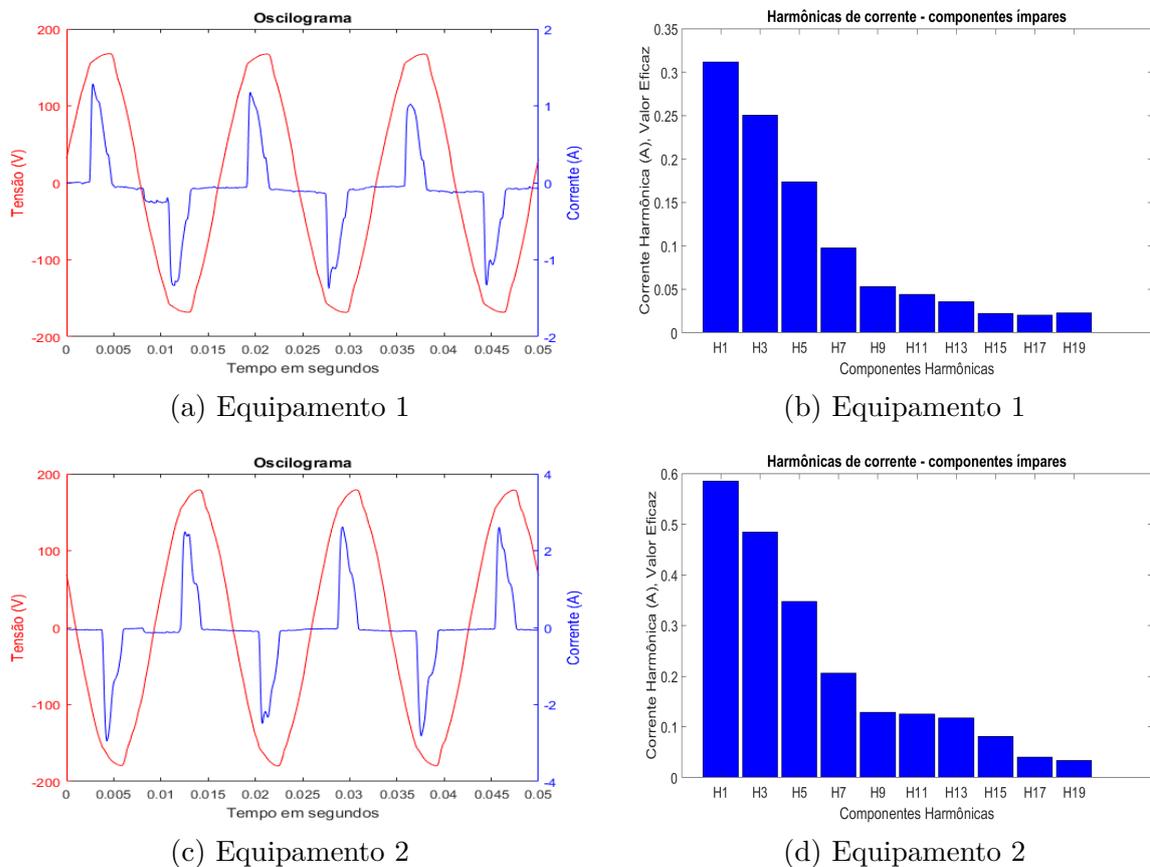
Para classe 4, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Dell Vostro P24F;
2. HP Compaq Presario CQ50-113BR;
3. Dell Inspiron 14;
4. Lenovo LNV L1325.

Cabe ressaltar que os aparelhos foram testados em duas situações: com a bateria carregada e durante o processo de carga.

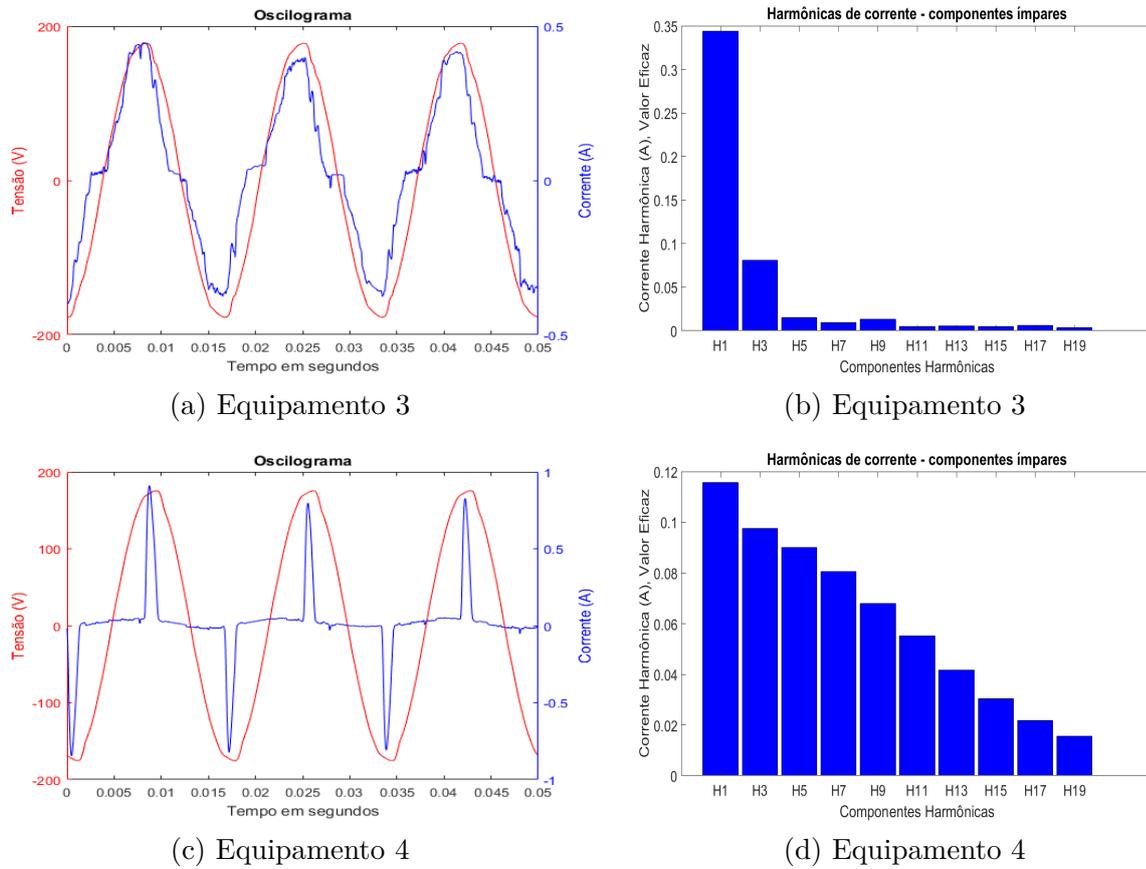
De modo geral, observou-se comportamentos distintos para cada aparelho. Isso pode ser visto a partir do oscilograma e da decomposição harmônica de corrente mostrados nas figuras 38 e 39.

Figura 38 – Classe 4: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Figura 39 – Classe 4: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 20 e 21.

Tabela 20 – Classe 4: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	33.209	36.977	43.033	0.631	0.657	0.681
2	67.479	70.068	71.582	0.618	0.629	0.636
3	28.701	42.616	54.270	0.947	0.959	0.965
4	12.098	14.338	17.835	0.491	0.510	0.538

Tabela 21 – Classe 4: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.118	0.157	0.184	0.724	0.746	0.772
2	0.199	0.209	0.220	0.762	0.766	0.773
3	0.103	0.124	0.171	0.233	0.258	0.281
4	0.094	0.113	0.132	0.842	0.859	0.871

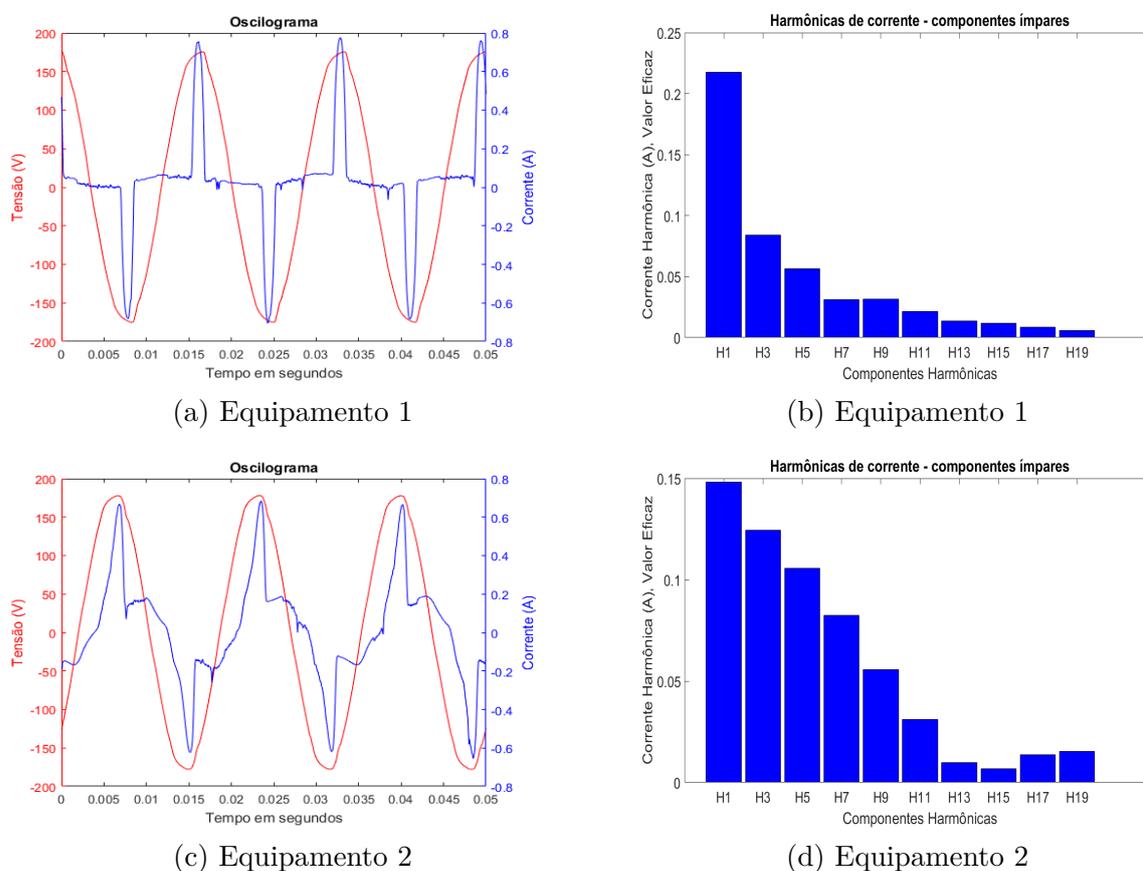
### 6.1.5 Classe 5: Aparelho de som

Para classe 5, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Mini System Philco PH400;
2. Micro HI-FI Component CMT-HP7.

Os aparelhos analisados possuem tecnologias diferentes e isso pode ser observado no oscilograma e na decomposição harmônica de corrente mostrados na Figura 40.

Figura 40 – Classe 5: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para os equipamentos são exibidos nas tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Classe 5: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	18.081	18.284	18.788	0.584	0.594	0.604
2	23.207	24.884	26.811	0.783	0.797	0.805

Tabela 23 – Classe 5: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.047	0.056	0.066	0.797	0.805	0.812
2	0.400	0.422	0.439	0.446	0.475	0.505

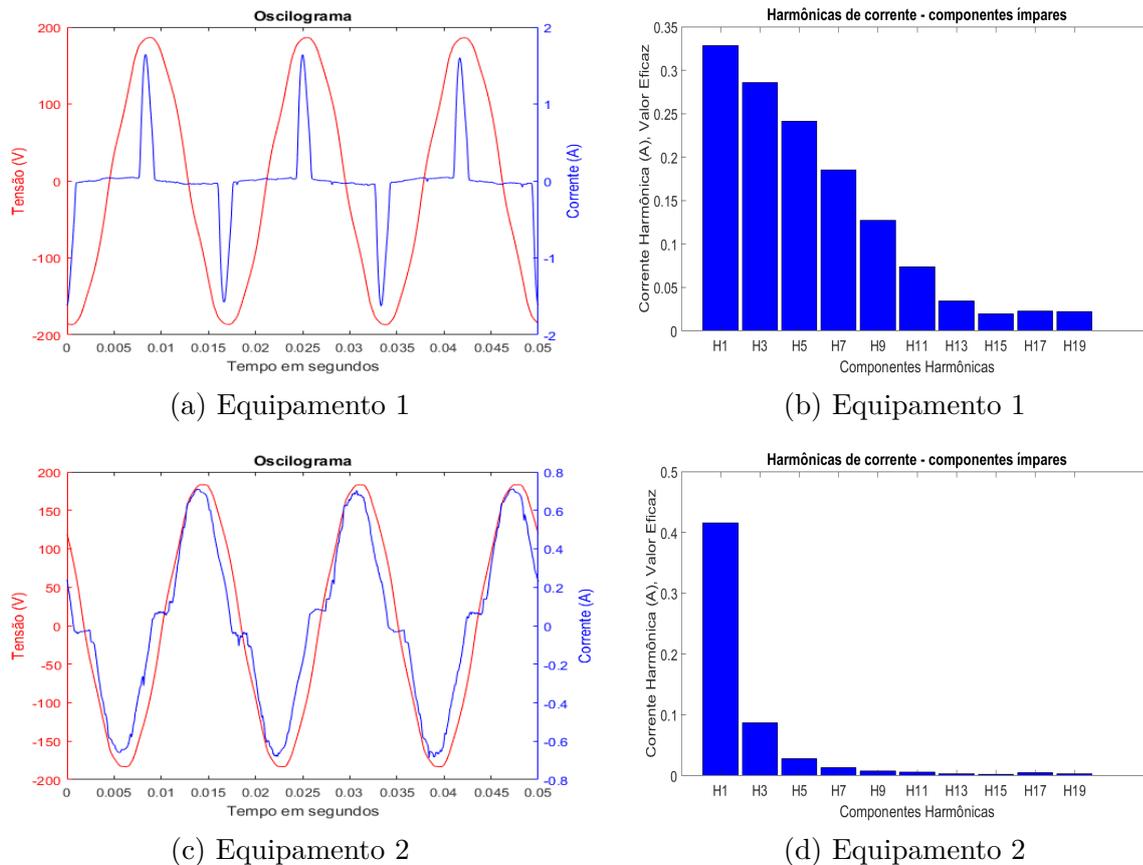
### 6.1.6 Classe 6: Televisão LED

Para classe 6, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Samsung 40 polegadas;
2. Samsung 50 polegadas Full HD UNH50H5303AGXZD.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para os equipamentos testados são mostrados na Figuras 41. A diferença aparante na operação desses dois equipamentos a princípio é dada por um circuito pré-regulador do fator de potência.

Figura 41 – Classe 6: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para os equipamentos testados são exibidos nas tabelas 24 e 25. Embora sejam de mesma tecnologia, tais

equipamentos apresentam comportamentos distintos. Essa diferença é notada não apenas nos valores de potência ativa, mas também nos indicadores como o fator de potência e de não linearidade.

Tabela 24 – Classe 6: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	32.433	42.605	47.707	0.563	0.579	0.598
2	52.751	53.737	60.377	0.952	0.959	0.965

Tabela 25 – Classe 6: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.175	0.191	0.205	0.792	0.807	0.818
2	0.149	0.163	0.167	0.219	0.235	0.260

### 6.1.7 Classe 7: Liquidificador

Para classe 7, foram analisados os seguintes equipamentos:

- Arno Magic Clean - Potência 1;
- Arno Magic Clean - Potência 5.

O mesmo equipamento foi analisado em duas situações: potência mínima e potência máxima. Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados são exibidos nas tabelas 26 e 27.

Tabela 26 – Classe 7: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	143.652	174.970	216.299	0.670	0.713	0.735
2	171.362	198.521	213.624	0.818	0.853	0.875

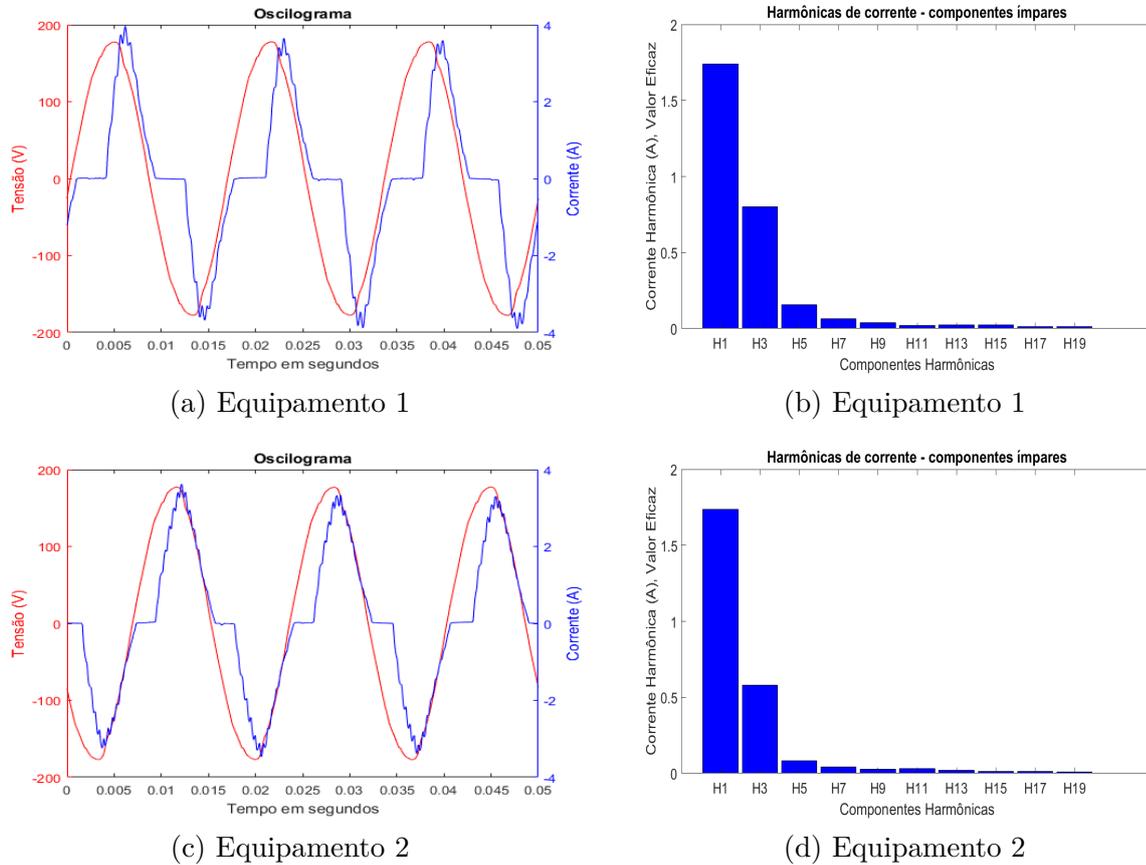
Tabela 27 – Classe 7: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.591	0.617	0.671	0.391	0.416	0.458
2	0.407	0.436	0.481	0.292	0.321	0.377

De modo geral, o liquidificador apresenta a corrente defasada da tensão. No nível mais intenso a magnitude das harmônicas de corrente é reduzida, bem como a defasagem da corrente em relação a tensão.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para os casos de teste são mostrados na Figura 40.

Figura 42 – Classe 7: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

### 6.1.8 Classe 8: Televisão LCD

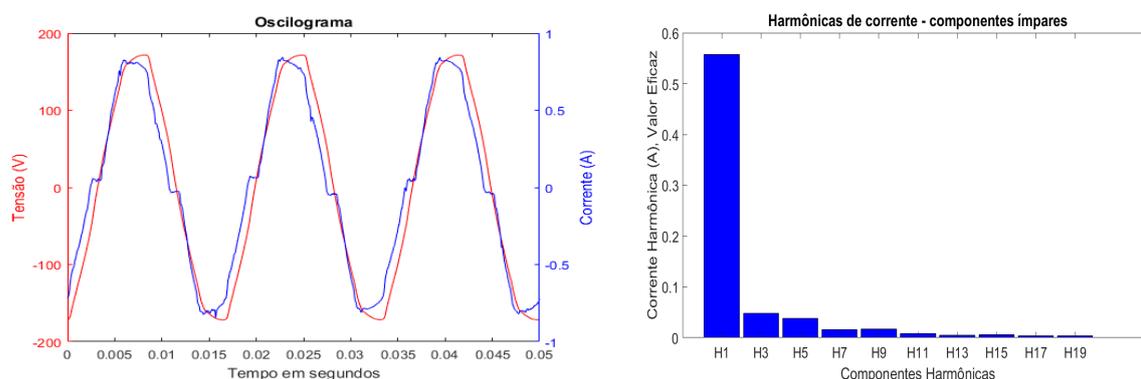
Para classe 8, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Samsung LCD 42 polegadas;
2. LG 32LC3R LCD 32 polegadas;
3. Samsung LCD 26 polegadas D450.

De modo geral, as televisões LCD apresentaram o mesmo comportamento. Tais equipamentos apresentam fator de potência próximo de 1 e fator de não linearidade baixo. Isso pode ser visto na Figura 43 a partir do oscilograma e da decomposição harmônica de corrente.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 28 e 29.

Figura 43 – Classe 8: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



(a) Equipamento 1, 2 e 3

(b) Equipamento 1, 2 e 3

Fonte: o próprio autor.

Tabela 28 – Classe 8: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrdoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	73.726	77.517	79.106	0.967	0.970	0.972
2	59.020	68.246	74.289	0.969	0.975	0.979
3	117.727	120.911	130.891	0.994	0.995	0.995

Tabela 29 – Classe 8: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrdoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.155	0.160	0.170	0.180	0.184	0.192
2	0.168	0.178	0.193	0.118	0.134	0.159
3	0.064	0.068	0.072	0.076	0.080	0.085

### 6.1.9 Classe 9: Máquina de lavar roupas

Para classe 9, foi analisado o seguinte equipamento:

- Electrolux Front Load LE05.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados são exibidos nas tabelas 30 e 31.

Tabela 30 – Classe 9: Potência Ativa e Fator de Potência.

Estado	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	211.154	281.157	343.654	0.878	0.955	0.962
2	20.019	23.129	32.801	0.340	0.383	0.512
3	295.656	947.219	1361.263	0.821	0.937	0.988

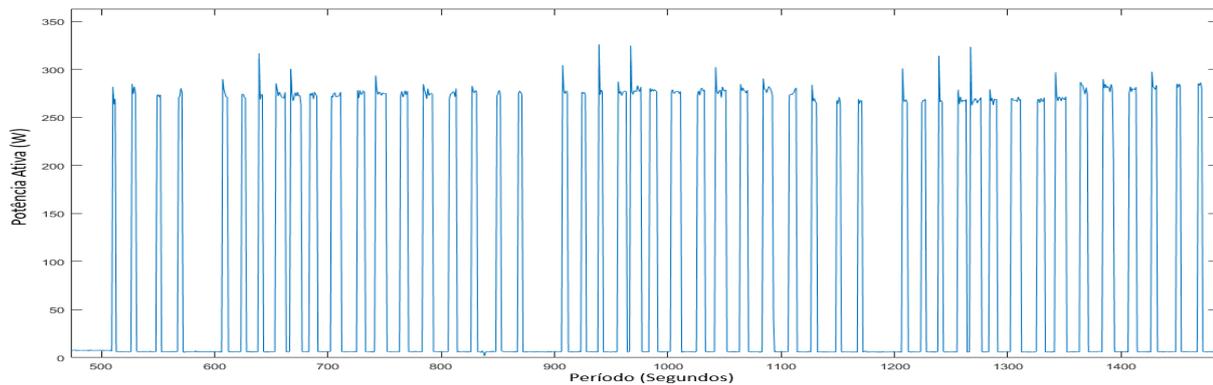
Tabela 31 – Classe 9: Fator de reatividade e não linearidade.

Estado	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.259	0.293	0.355	0.017	0.044	0.591
2	0.857	0.921	0.940	0.041	0.075	0.212
3	0.151	0.322	0.567	0.036	0.052	0.082

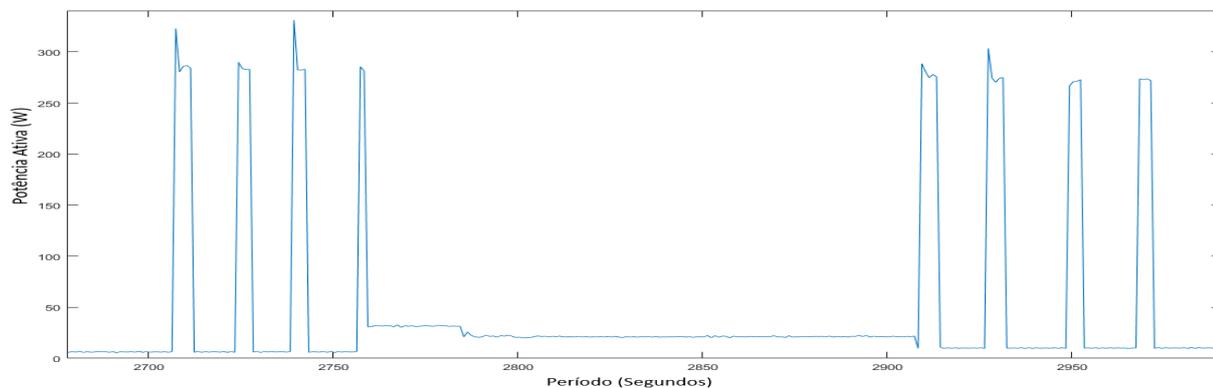
A máquina de lavar roupa apresenta alguns estados durante o ciclo de lavagem. Os estados de operação são exibidos nas figuras 44 e 45, sendo representados pela variação da potência ativa.

No caso da lavagem rápida, os principais estados do equipamento analisado são representados pela operação de enxágue (Estado 1 - potência média e ciclo on/off), acionamento da bomba para adicionar e remover água (Estado 2 - potência baixa e constante), e da centrifugação (Estado 3 - potência alta e ciclo on/off).

Figura 44 – Classe 9: Potência ativa média dos estados 1 e 2.



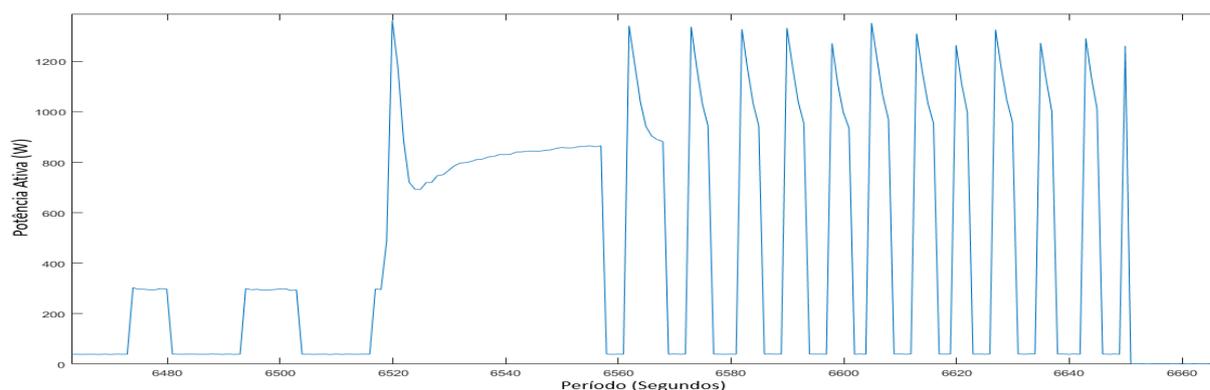
(a) Estado 1



(b) Estado 2

Fonte: o próprio autor.

Figura 45 – Classe 9: Potência ativa média para o estado 3.



(a) Estado 3

Fonte: o próprio autor.

### 6.1.10 Classe 10: Secador de cabelos

Para classe 10, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. DAIHATSU 1700W;
2. TAIFF 1900W.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 32 e 33.

Tabela 32 – Classe 10: Potência Ativa e Fator de Potência.

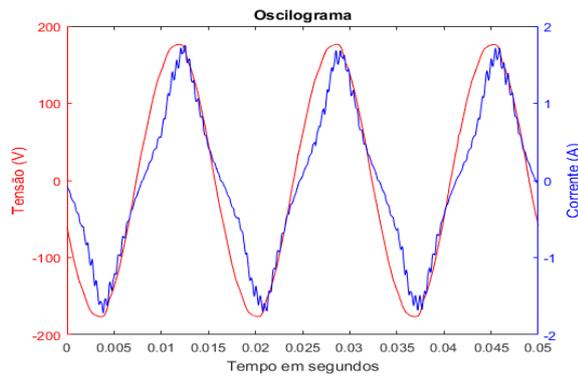
Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1 - Nível 1	106.769	113.388	153.457	0.925	0.943	0.957
1 - Nível 2	1424.244	1433.337	1440.284	0.999	1.000	1.000
2 - Nível 1	500.647	507.492	511.049	0.679	0.694	0.698
2 - Nível 2	1709.885	1727.885	1782.505	0.999	1.000	1.000

Tabela 33 – Classe 10: Fator de reatividade e não linearidade.

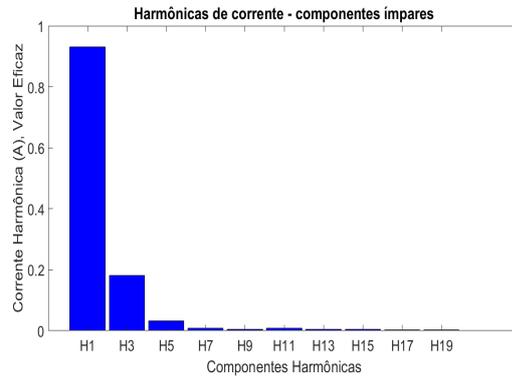
Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1 - Nível 1	0.242	0.275	0.323	0.180	0.184	0.192
1 - Nível 2	0.015	0.018	0.022	0.013	0.016	0.029
2 - Nível 1	0.004	0.010	0.039	0.716	0.720	0.731
2 - Nível 2	0.017	0.018	0.031	0.012	0.013	0.020

Na potência máxima os dois equipamentos apresentaram o mesmo comportamento, sendo caracterizado pelo fator de potência unitário. Essas características são apresentadas na Figura 46.

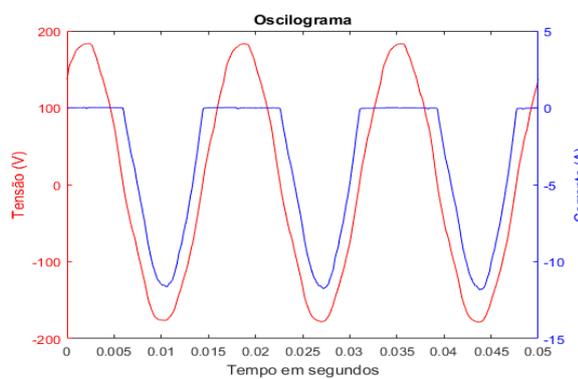
Figura 46 – Classe 10: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



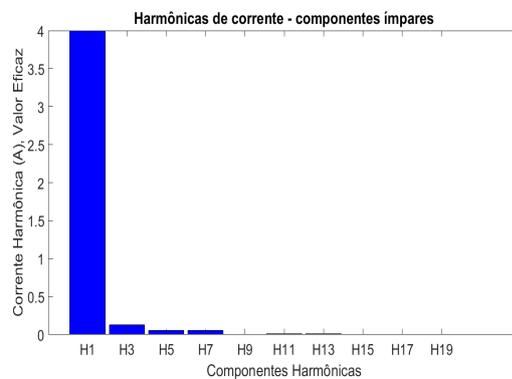
(a) DAIHATSU 1 - Nível 1



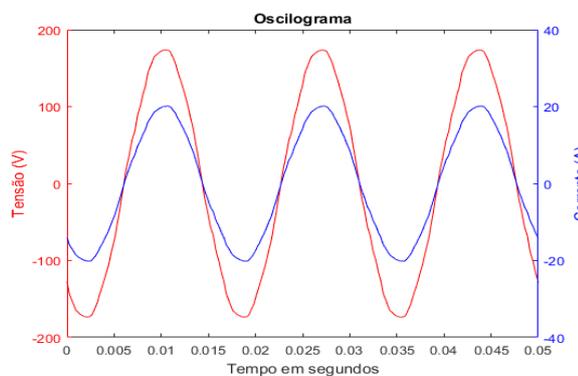
(b) DAIHATSU 1- Nível 1



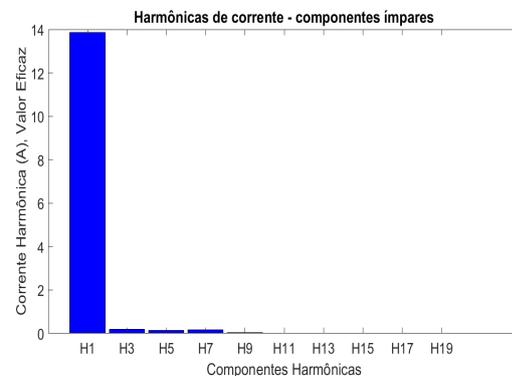
(c) TAIFF - Nível 1



(d) TAIFF - Nível 1



(e) DAIHATSU e TAIFF - Nível 2



(f) DAIHATSU e TAIFF - Nível 2

Fonte: o próprio autor.

### 6.1.11 Classe 11: Lâmpada Fluorescente

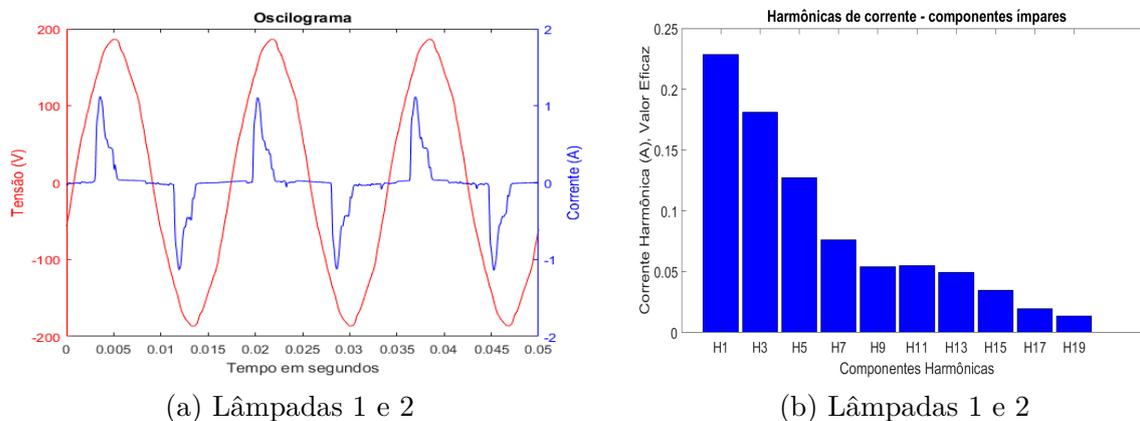
Para classe 11, foram analisados os seguintes elementos:

- Lâmpada de 20W;
- Lâmpada de 23W.

As lâmpadas fluorescentes não apresentam comportamento linear. Além disso, a

corrente apresenta-se adiantada em relação a tensão. Isso pode ser visto na Figura 47 a partir do oscilograma.

Figura 47 – Classe 11: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos elementos são exibidos nas tabelas 34 e 35.

Tabela 34 – Classe 11: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	16.050	16.727	17.742	0.695	0.702	0.709
2	26.024	27.307	27.993	0.534	0.613	0.635

Tabela 35 – Classe 11: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.317	0.330	0.347	0.656	0.669	0.680
2	0.297	0.371	0.400	0.735	0.753	0.815

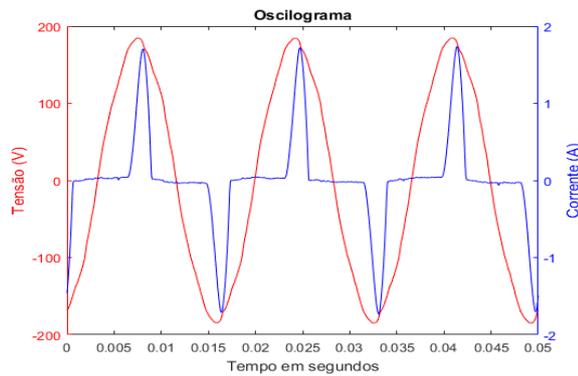
### 6.1.12 Classe 12: Computador de mesa

Para classe 12, foram analisados os seguintes equipamentos:

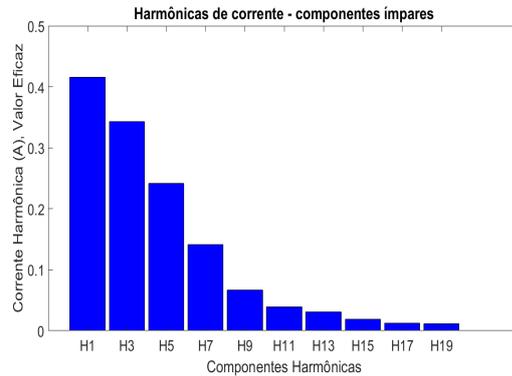
1. Dell OptiPlex 745;
2. Dell Optiplex 170L.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para os equipamentos testados são mostrados na Figura 48.

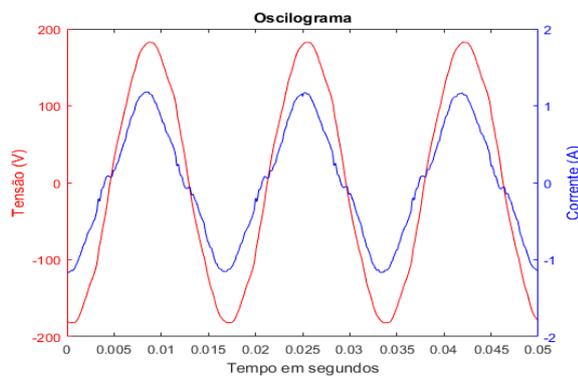
Figura 48 – Classe 12: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



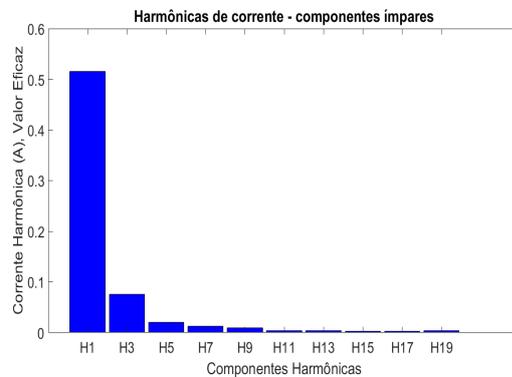
(a) Equipamento 1



(b) Equipamento 1



(c) Equipamento 2



(d) Equipamento 2

Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 36 e 37.

Tabela 36 – Classe 12: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrdoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	48.618	53.149	64.327	0.651	0.668	0.684
2	57.555	65.317	85.426	0.967	0.969	0.977

Tabela 37 – Classe 12: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrdoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.123	0.149	0.173	0.720	0.738	0.755
2	0.135	0.169	0.184	0.166	0.186	0.208

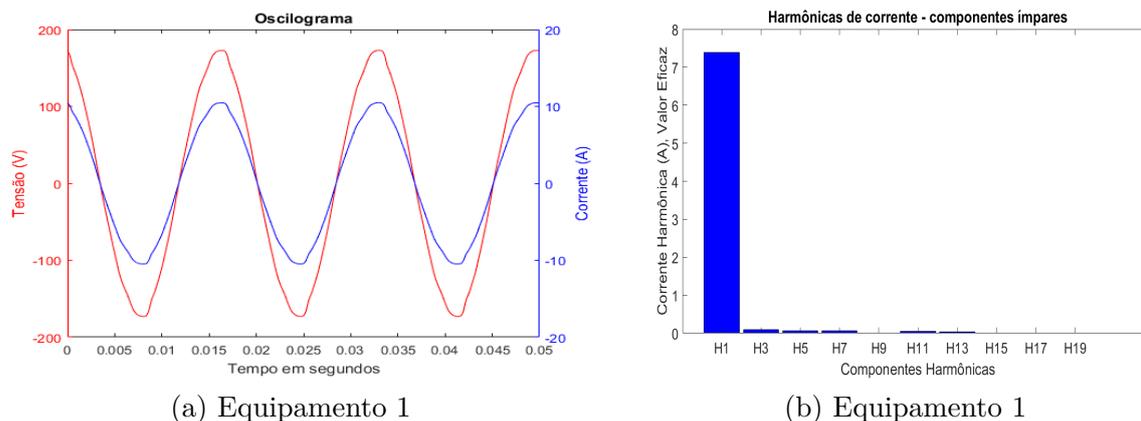
### 6.1.13 Classe 13: Forno Elétrico

Para classe 13, foi analisado o seguinte equipamento:

- Arno Miniforno Super Chef.

O forno elétrico é uma carga puramente resistiva. O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente são mostradas na Figura 49.

Figura 49 – Classe 13: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos do forno elétrico analisado são exibidos nas tabelas 38 e 39.

Tabela 38 – Classe 13: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	886.483	895.286	903.739	1.000	1.000	1.000

Tabela 39 – Classe 13: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.003	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002

#### 6.1.14 Classe 14: Monitor LCD-LED-Tubo

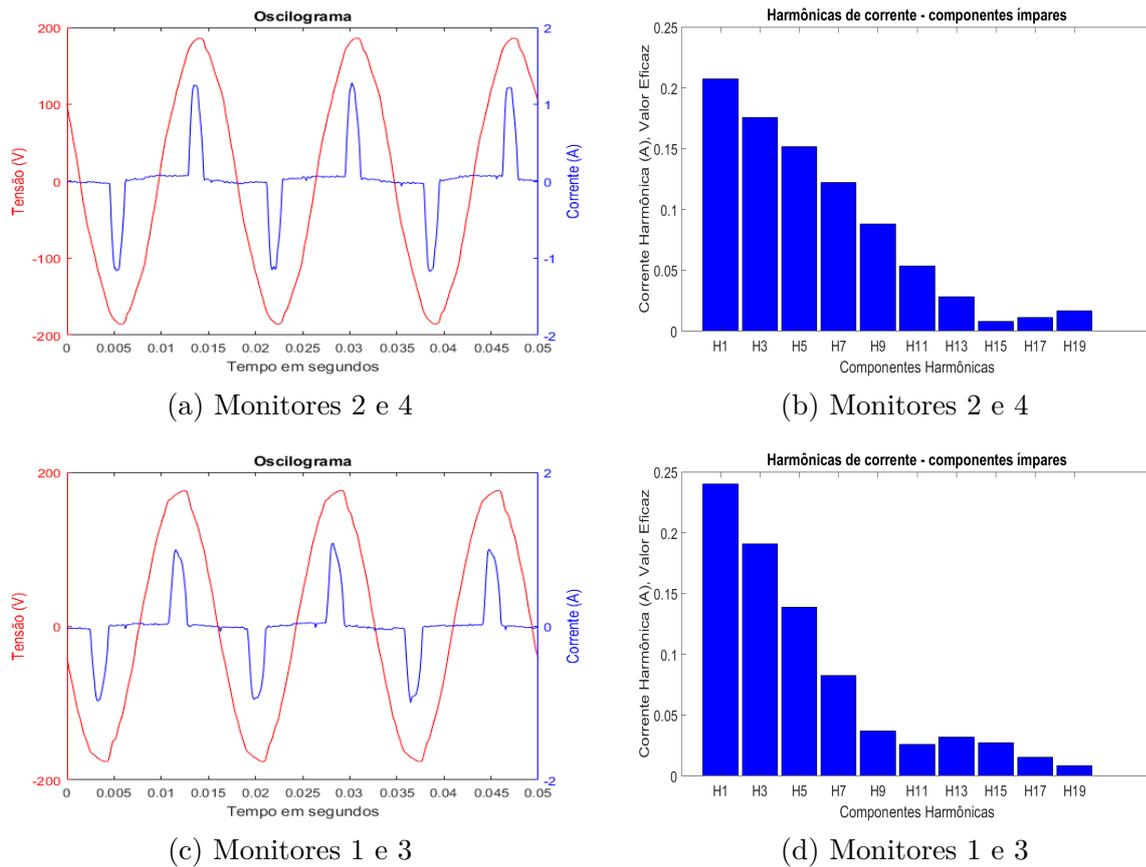
Para classe 14, foram analisados os seguintes equipamentos:

1. Monitor LCD E178pc 19 polegadas;
2. Monitor LCD Hyundai;
3. Samsung LT19B300;
4. Dell E773C.

Mesmo com tecnologias diferentes, tais equipamentos apresentaram comportamento semelhante.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para os equipamentos testados são mostrados na Figura 50.

Figura 50 – Classe 14: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos equipamentos são exibidos nas tabelas 40 e 41.

Tabela 40 – Classe 14: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	28.388	28.723	29.125	0.563	0.573	0.587
2	28.577	28.962	30.329	0.621	0.634	0.653
3	14.610	14.865	15.060	0.545	0.580	0.597
4	49.783	51.571	55.741	0.633	0.638	0.647

Tabela 41 – Classe 14: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.192	0.208	0.236	0.798	0.811	0.819
2	0.087	0.099	0.107	0.754	0.771	0.782
3	0.094	0.117	0.200	0.799	0.812	0.832
4	0.178	0.191	0.205	0.752	0.760	0.766

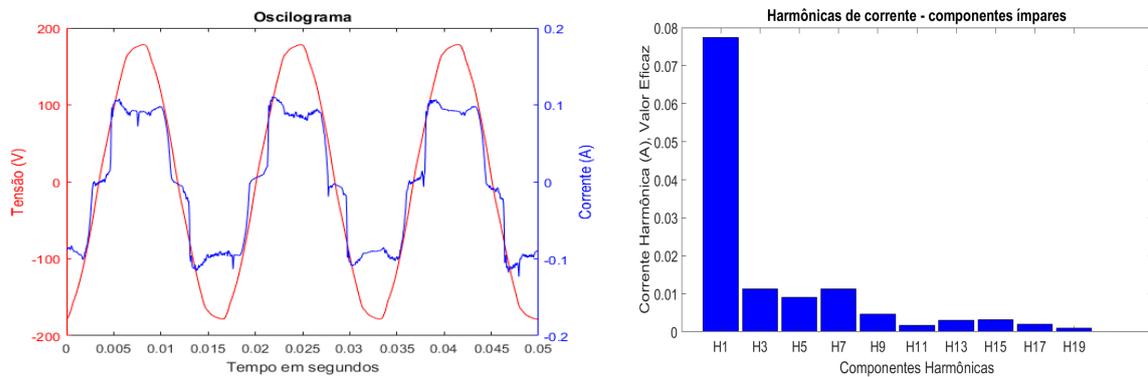
### 6.1.15 Classe 15: Lâmpada LED

Para classe 15, foi analisado a seguinte lâmpada:

#### 1. Lâmpada LED 8.5W.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente da lâmpada testada é mostrado na Figura 51. Já os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros são exibidos nas tabelas 42 e 43.

Figura 51 – Classe 15: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



(a) Equipamento 1

(b) Equipamento 1

Fonte: o próprio autor.

Tabela 42 – Classe 15: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	9.003	9.894	10.953	0.401	0.803	0.964

Tabela 43 – Classe 15: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.019	0.061	0.386	0.295	0.598	0.925

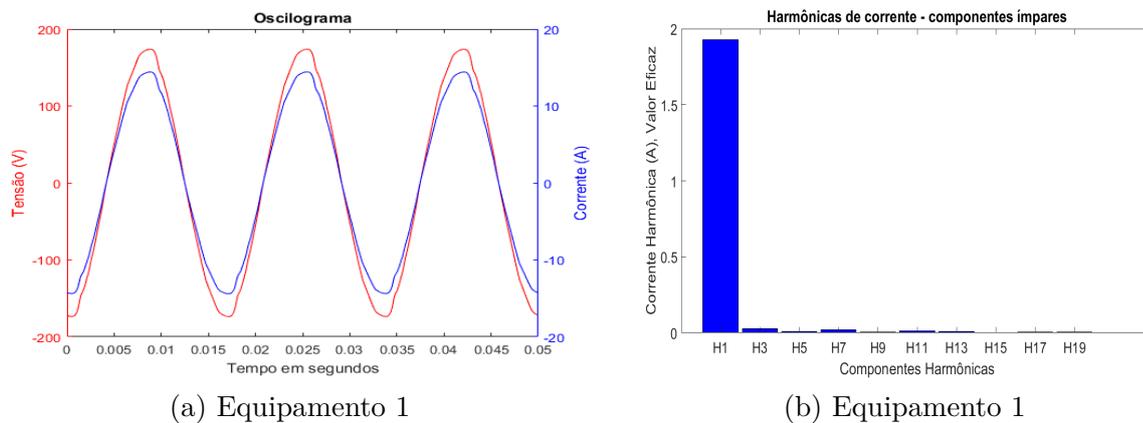
### 6.1.16 Classe 16: Ferro de Passar Roupa

Para classe 16, foi analisado o seguinte equipamento:

1. Black & Decker X300.

O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente do equipamento testado são mostrados na Figura 52.

Figura 52 – Classe 16: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados são exibidos nas tabelas 44 e 45.

Tabela 44 – Classe 16: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	1235.830	1246.236	1259.028	1.000	1.000	1.000

Tabela 45 – Classe 16: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.005

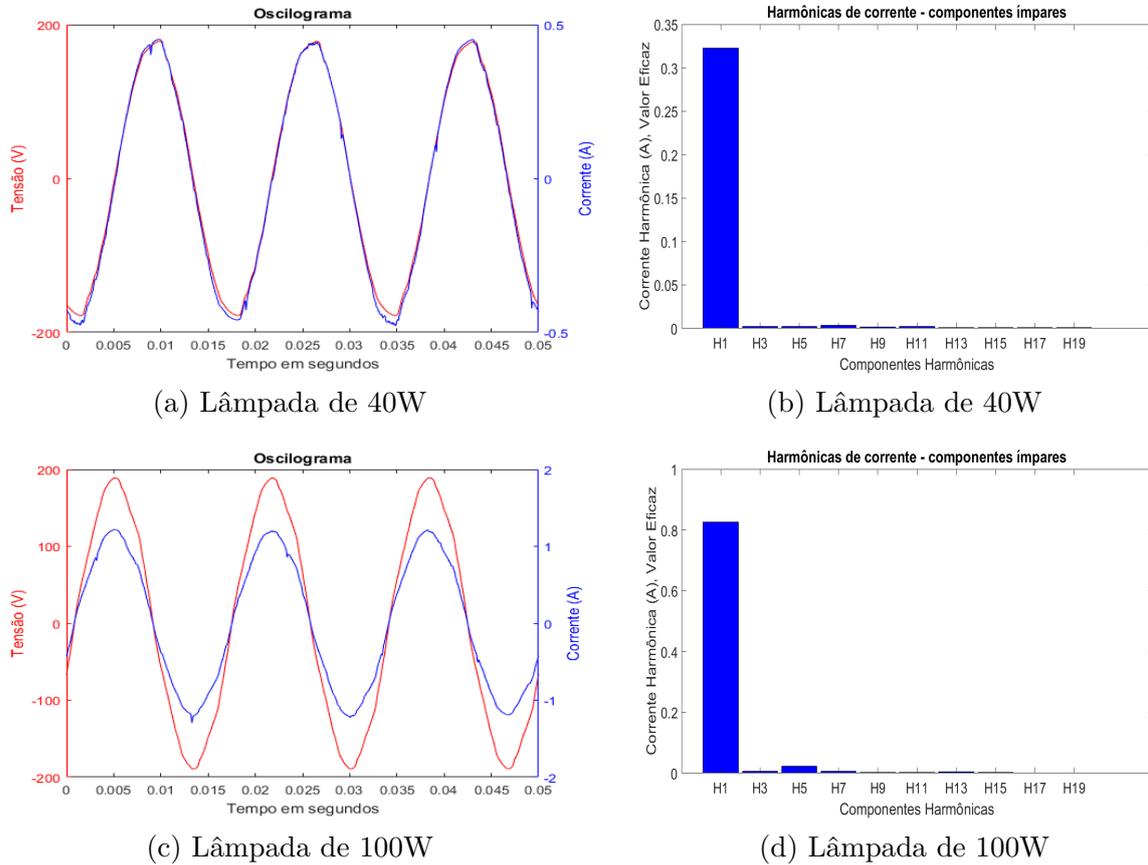
### 6.1.17 Classe 17: Lâmpada Incandescente

Para classe 17, foram analisados os seguintes elementos:

1. Lâmpada de 40W;
2. Lâmpada de 100W.

A lâmpada incandescente é uma carga puramente resistiva. O oscilograma e a decomposição harmônica de corrente para os equipamentos testados são mostrados na Figura 53.

Figura 53 – Classe 17: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos elementos são exibidos nas tabelas 46 e 47.

Tabela 46 – Classe 17: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrdoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	40.039	40.497	40.788	0.996	0.998	0.999
2	100.802	108.165	112.135	0.956	0.999	1.000

Tabela 47 – Classe 17: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrdoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.010	0.011	0.013	0.034	0.045	0.076
2	0.002	0.009	0.060	0.016	0.025	0.291

### 6.1.18 Classe 18: Fritadeira Elétrica

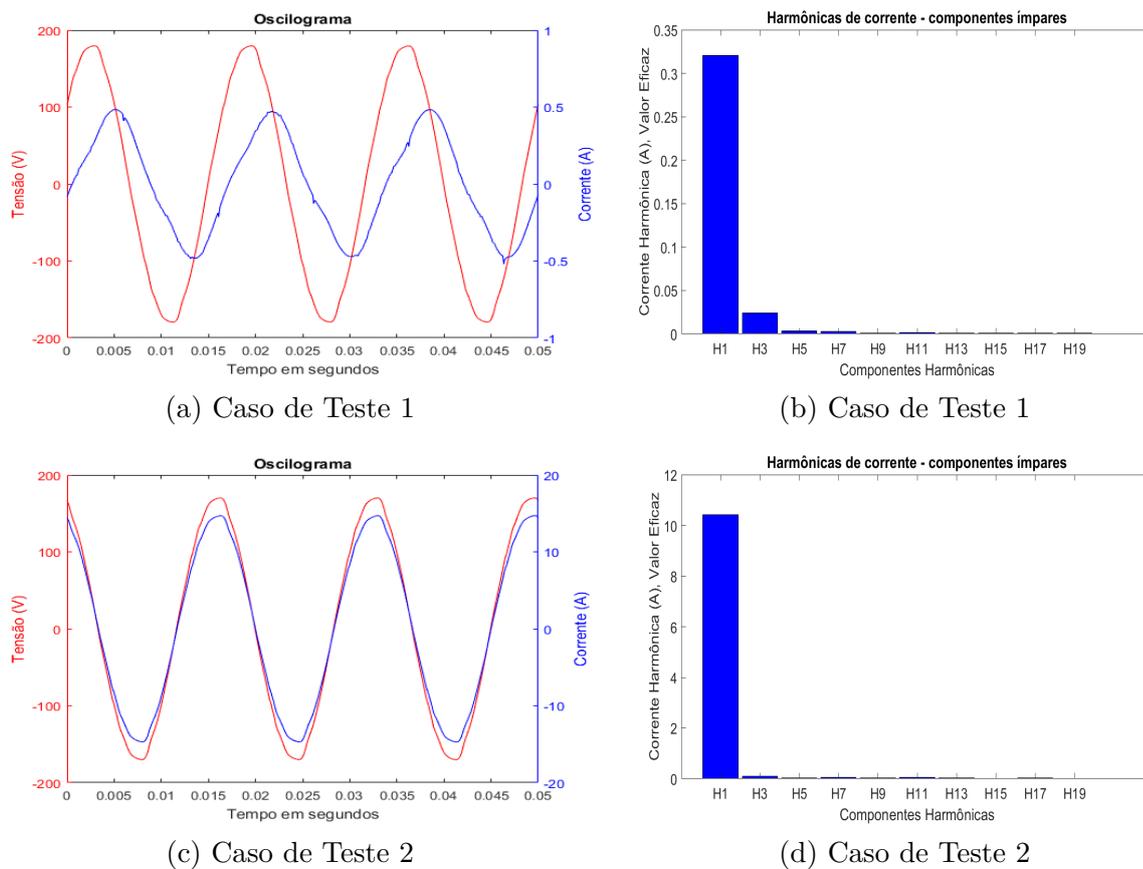
Para classe 18, foram analisados os seguintes elementos:

1. Mondial Air Fryer - Sistema de ventilação ligado;
2. Mondial Air Fryer - Sistema de aquecimento ligado.

Nesse tipo de equipamento, verificou-se que sua operação ocorre em dois estágios distintos. Durante o estágio de aquecimento a carga tem característica puramente resistiva, enquanto que no modo ventilação a corrente apresenta-se atrasada em relação a tensão.

A diferença entre esses dois estágios de operação é destacada no oscilograma de tensão e corrente apresentado Figura 54.

Figura 54 – Classe 18: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



Fonte: o próprio autor.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados para todos elementos são exibidos nas tabelas 48 e 49.

Tabela 48 – Classe 18: Potência Ativa e Fator de Potência.

Eletrodoméstico	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	23.501	24.880	26.688	0.558	0.616	0.636
2	1224.240	1259.765	1287.557	1.000	1.000	1.000

Tabela 49 – Classe 18: Fator de reatividade e não linearidade.

Eletrodoméstico	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.746	0.785	0.872	0.092	0.108	1.000
2	0.018	0.019	0.027	0.002	0.003	0.006

### 6.1.19 Classe 19: Ar condicionado

Para classe 19, foi analisado o seguinte aparelho:

1. DeLonghi Pinguino Portátil 12000 BTU.

Para o mesmo equipamento, observou-se dois estados de operação. No primeiro, o compressor está ligado e o equipamento está no modo de refrigeração. Já no segundo, o compressor está desligado, funcionando apenas o sistema de ventilação.

Os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados nos dois estados de operação são exibidos nas tabelas 50 e 51.

Tabela 50 – Classe 19: Potência Ativa e Fator de Potência.

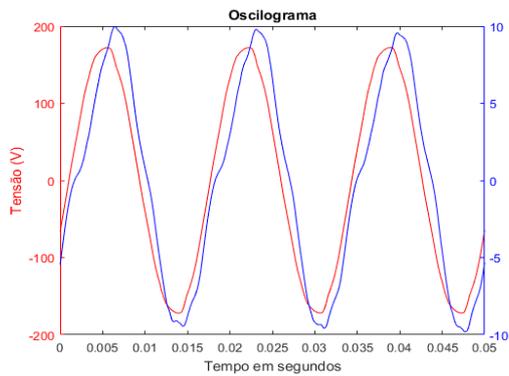
Estado	P (W)			PF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	750.951	783.177	811.326	0.921	0.931	0.946
2	35.574	35.947	36.222	0.991	0.992	0.992

Tabela 51 – Classe 19: Fator de reatividade e não linearidade.

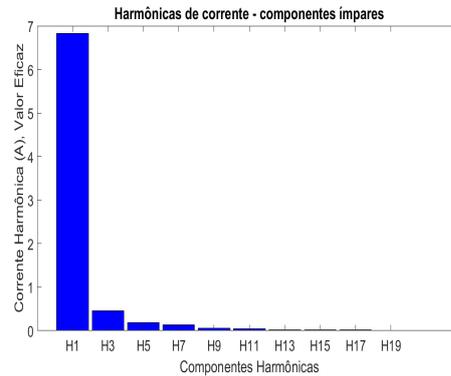
Estado	QF			VF		
	Mín	Médio	Máx	Mín	Médio	Máx
1	0.299	0.340	0.367	0.135	0.142	0.148
2	0.077	0.083	0.090	0.096	0.100	0.106

A diferença entre esses dois estados é apresentada na Figura 55 a partir do oscilograma e da decomposição harmônica de corrente.

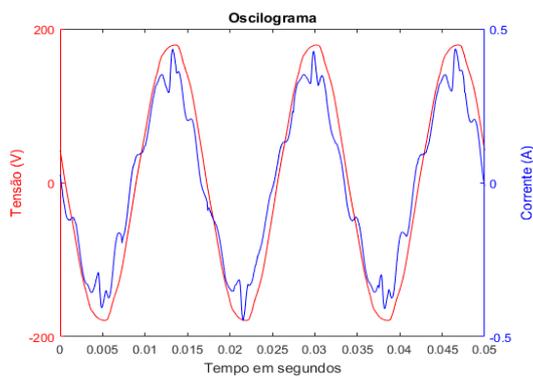
Figura 55 – Classe 19: Oscilograma e decomposição harmônica de corrente.



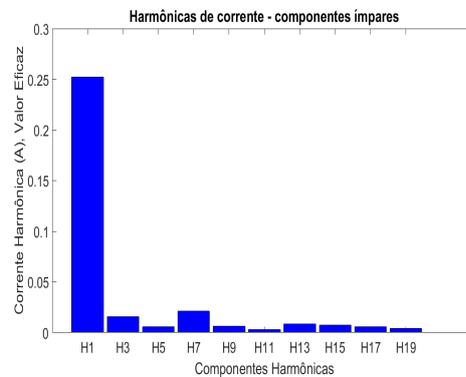
(a) Caso de Teste 1



(b) Caso de Teste 1



(c) Caso de Teste 2



(d) Caso de Teste 2

Fonte: o próprio autor.

## 6.2 Formação da base de dados

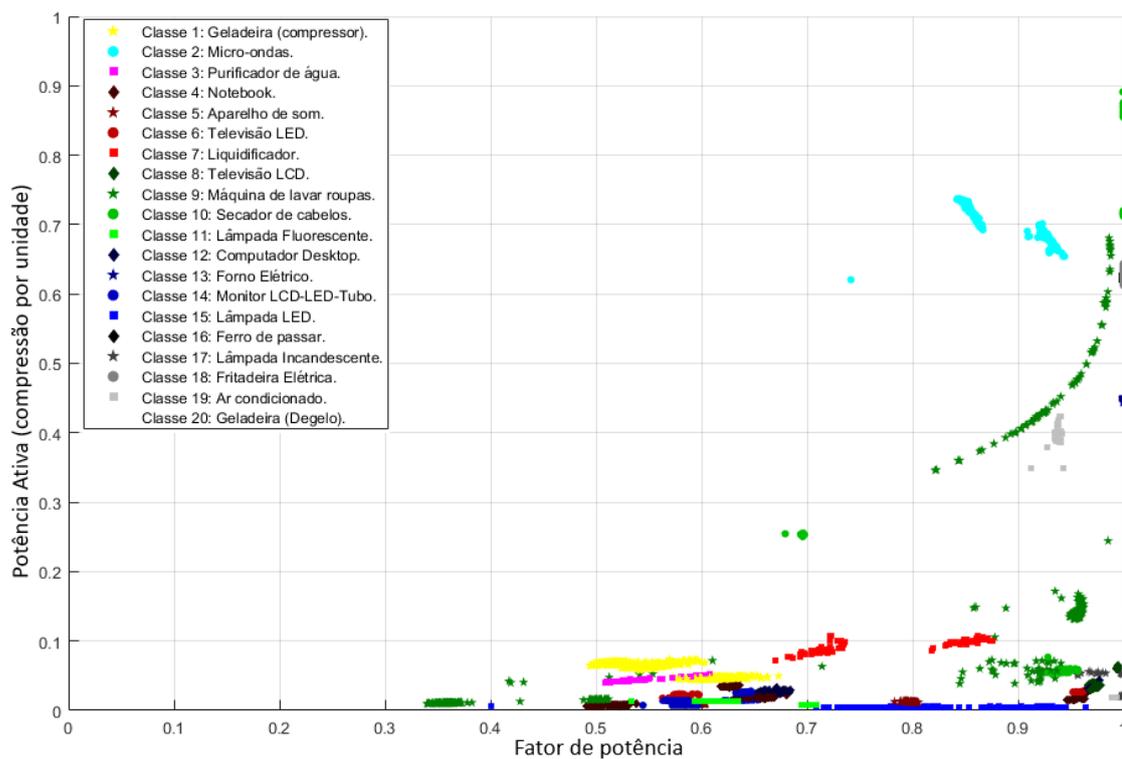
Como dito anteriormente, as informações coletadas os atributos tiveram seus valores médios calculados — minuto a minuto — e foram inseridos em uma base de dados única. Dessa maneira, as cargas podem ser distribuídas espacialmente, sendo representadas a partir dos atributos classificadores.

Em duas dimensões as cargas podem ser analisadas conforme mostrado nas figuras 56 e 57. Cabe ressaltar que a Figura 57 exemplifica a proposta apresentada por Hart (HART, 1992), em que as cargas são caracterizadas pelas parcelas de potência ativa (P) e reativa (Q).

De fato, algumas classes apresentam-se próximas umas das outras enquanto outras aparecem bem separadas, principalmente quando o atributo analisado é a potência ativa média.

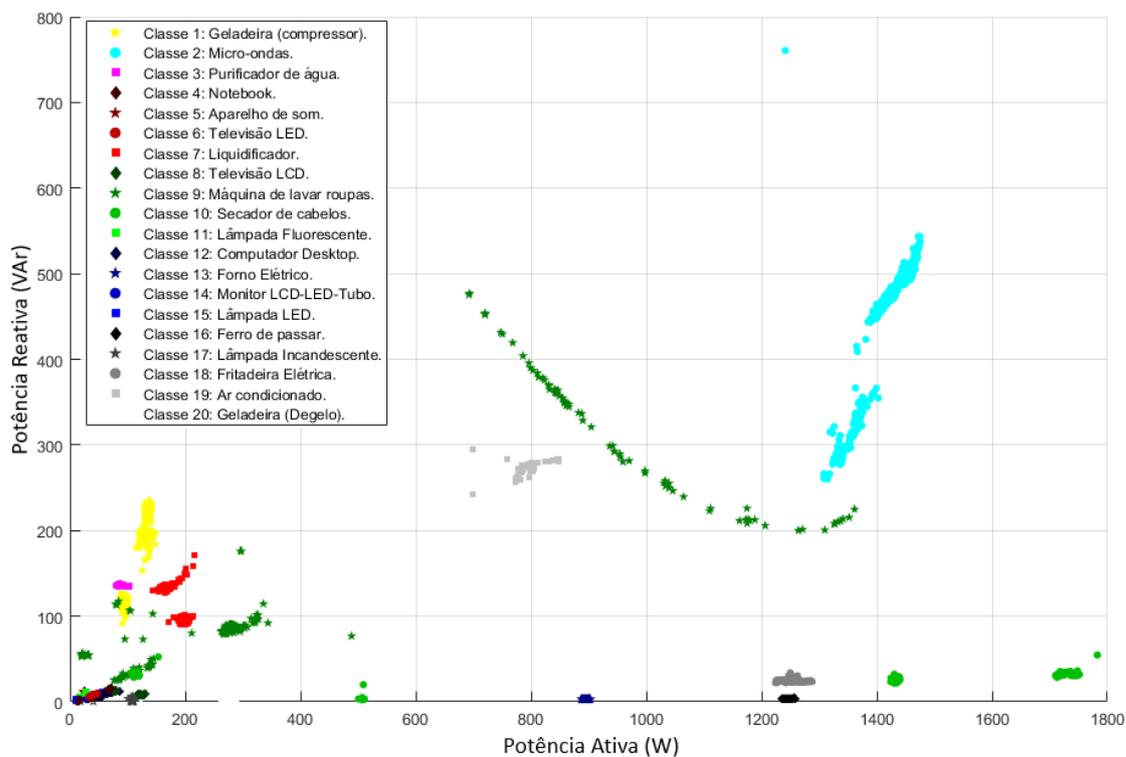
Além disso, cargas que possuem vários estados de operação apresentam-se distribuídas em mais de uma região. Por isso, torna-se importante mapear todo regime de operação do eletrodoméstico.

Figura 56 – Distribuição das cargas considerando potência e fator de potência.



Fonte: o próprio autor.

Figura 57 – Distribuição das cargas considerando potência ativa e reativa.

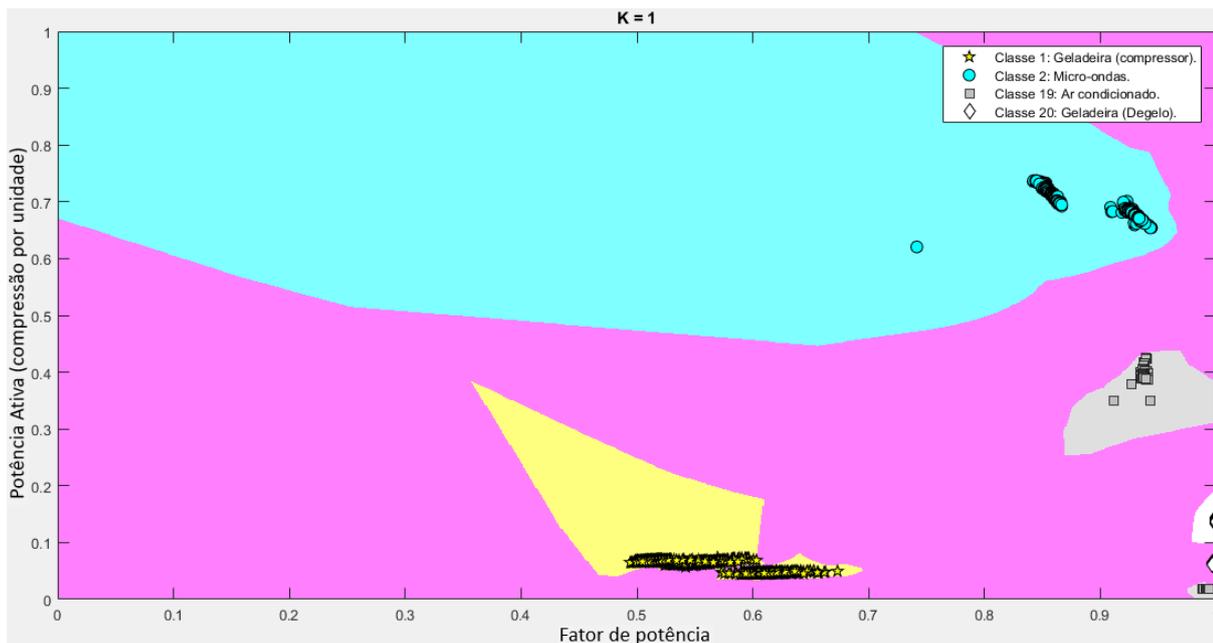


Fonte: o próprio autor.

Outra maneira de analisar a distribuição das cargas em duas dimensões é utilizando um mapa com fronteiras de decisão. A Figura 58 ilustra tais fronteiras, apresentando os parâmetros de fator de potência e potência ativa (em compressão por unidade).

Para cada ponto XY (atributo de classificação) é definido a classe mais próxima, e o ponto recebe a cor da classe. Para destacar somente os eletrodomésticos de interesse, as demais classes receberam a mesma cor.

Figura 58 – Fronteira de decisão das cargas de interesse.



Fonte: o próprio autor.

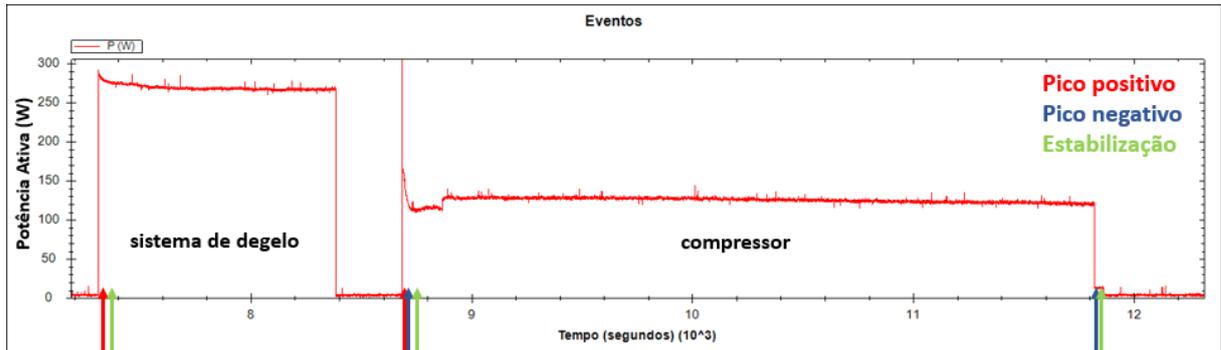
### 6.3 Metodologia para o monitoramento e classificação de cargas

Após a etapa de testes de cada equipamento, a base de dados em conjunto com a técnica de monitoramento é aplicada para identificação das cargas.

Para a sensibilidade do algoritmo, transições positivas seguidas de transições negativas na potência ativa são descartadas, e vice-versa. Essas condições são caracterizadas por breves oscilações no consumo, e não devem ser consideradas como eventos. Um exemplo disso, ilustrado na Figura 59, é o momento em que o motor compressor da geladeira é acionado, apresentando uma corrente de partida alta e conseqüentemente um pico de potência.

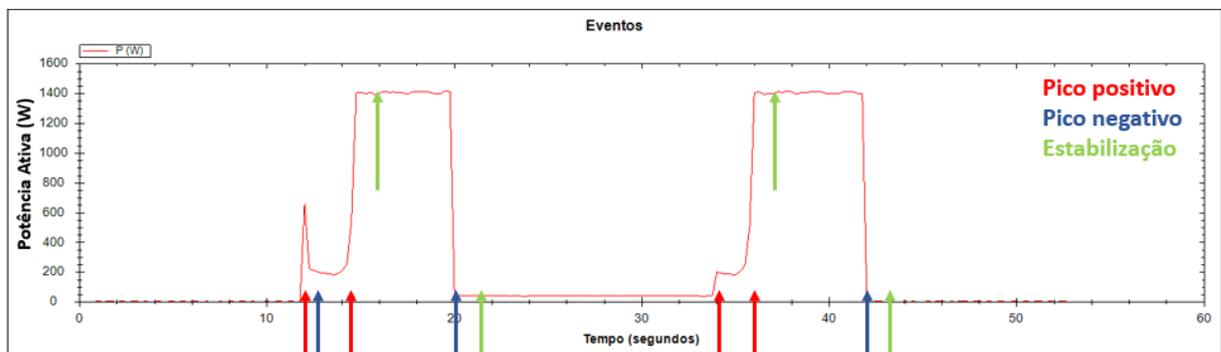
Uma condição semelhante, ilustrada na Figura 60, ocorre durante a operação do micro-ondas. Antes do estágio de potência máxima um pico de potência é registrado. No entanto, a estabilização ocorre após o segundo pico registrado.

Figura 59 – Monitoramento da geladeira.



Fonte: o próprio autor.

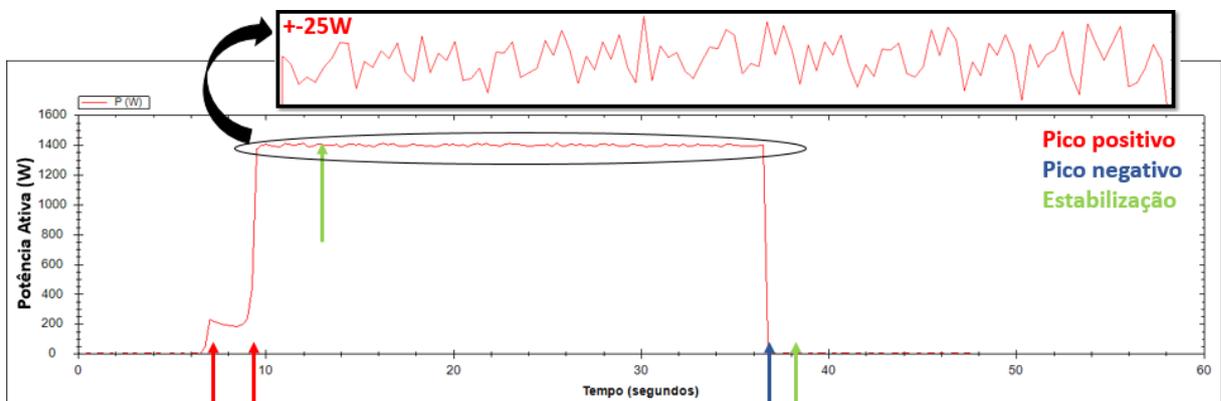
Figura 60 – Monitoramento do micro-ondas na potência média.



Fonte: o próprio autor.

Outro exemplo com o micro-ondas acontece durante o estágio de potência máxima, quando o micro-ondas apresenta variações de consumo maiores que o limiar de potência ativa atribuído no algoritmo. Essa situação é ilustrada na Figura 61.

Figura 61 – Oscilações da potência ativa durante a operação do micro-ondas.

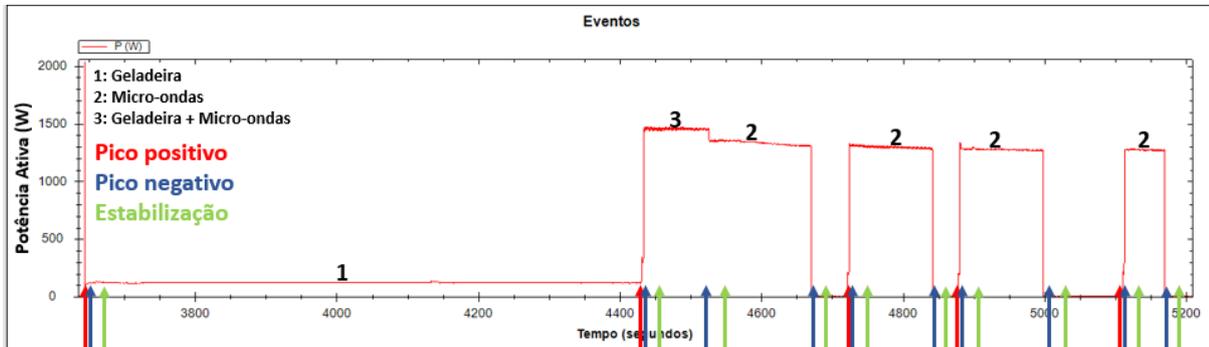


Fonte: o próprio autor.

Já na Figura 62, são mostradas duas cargas em operação e suas respectivas transições de estados. Nessa situação, a geladeira está ligada e posteriormente o micro-ondas é ativado.

Em seguida, o compressor é desligado enquanto o micro-ondas está operando, representando uma queda no consumo de potência ativa. Na sequência de eventos apenas o micro-ondas está em operação.

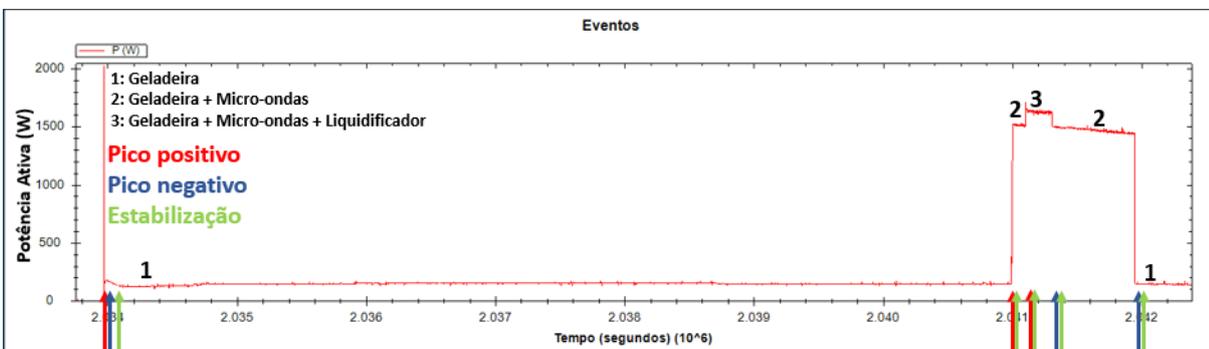
Figura 62 – Monitoramento de duas cargas.



Fonte: o próprio autor.

Por fim, na Figura 63 são exibidos os eventos de três cargas em operação. No cenário apresentado, o liquidificador é acionado enquanto o micro-ondas e a geladeiras estão ligados.

Figura 63 – Monitoramento de três cargas.



Fonte: o próprio autor.

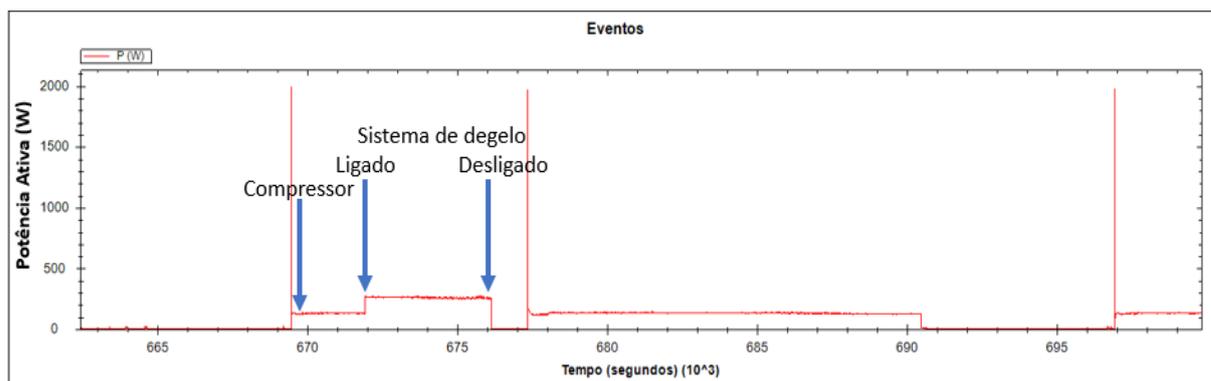
### 6.3.1 Avaliação da metodologia e atualização da base de dados

Devido ao comportamento de alguns eletrodomésticos a base de conhecimento foi atualizada. Assim, equipamentos que possuem mais de um estágio de operação foram reclassificados. Isto é, a base de conhecimento formada passou a representar modos de operação, podendo ser chamado de sub-classe.

Assim, um eletrodoméstico pode ser caracterizado a partir de um conjunto de sub-classes. Durante a operação do eletrodoméstico, a transição entre esses estados — identificação de sub-classe — é identificada e coordenada por uma máquina de estados.

Um exemplo disso é o acionamento do sistema de degelo. Na condição ilustrada na Figura 64, o evento detectado tem uma particularidade. Diferentemente de um evento caracterizado por uma carga distinta, o acionamento de degelo quando o compressor está ligado implica numa condição em que características do estado anterior não permanecem no estado atual. Isto é, uma carga é ligada ao mesmo tempo que outra é desligada.

Figura 64 – Avaliação de sub-classes: Geladeira.



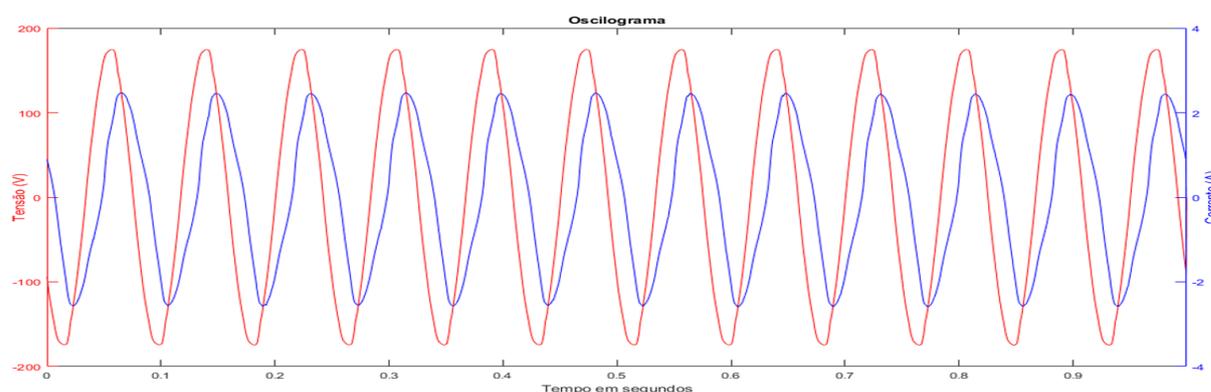
Fonte: o próprio autor.

Sem uma estrutura de máquina de estados, a sequência de eventos resultaria em dois estados de carga ligada e um de carga desligada. Assim, para a geladeira uma nova sub-classe (número 20) foi criada para representar o sistema de degelo. De modo geral, qualquer eletrodoméstico que possui diversos modos de operação pode ser representado por um conjunto de sub-classes.

### 6.3.2 Reconhecimento dos eletrodomésticos

Para exemplificar as operações de classificação, na Figura 65 é mostrado o oscilograma de tensão e corrente antes do micro-ondas entrar em operação.

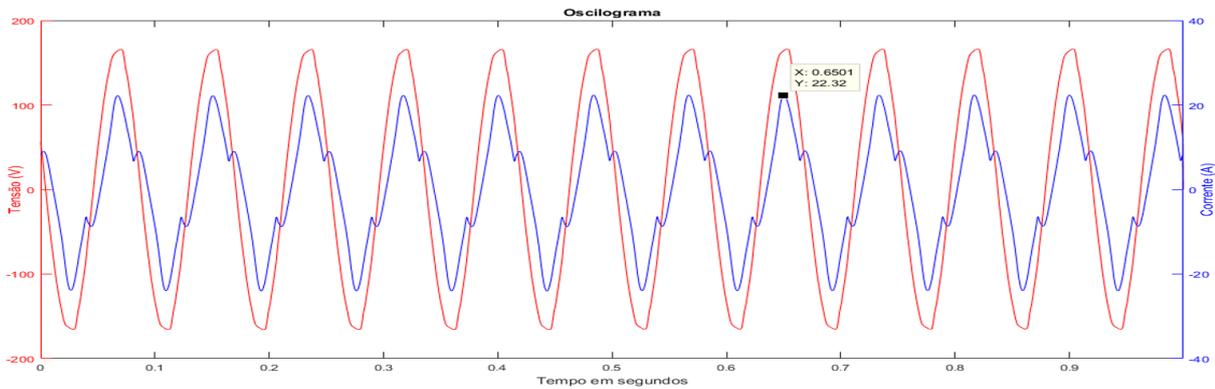
Figura 65 – Geladeira ligada.



Fonte: o próprio autor.

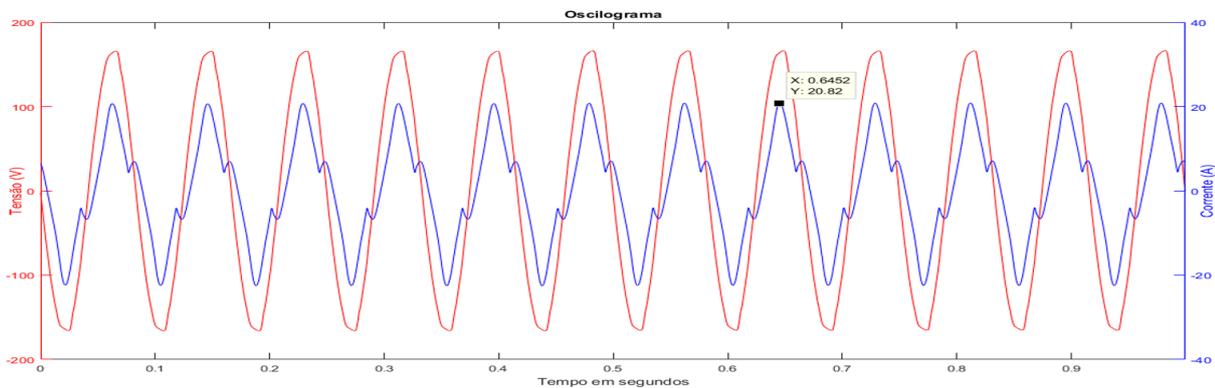
Nesse caso, o oscilograma corresponde a operação da geladeira. Já na Figura 66 é mostrado o oscilograma de tensão e corrente após o tempo de estabilização. A diferença entre as formas de onda de corrente é mostrada na Figura 67, indicando que o micro-ondas gerou o evento de carga ligada.

Figura 66 – Geladeira e Micro-ondas ligados.



Fonte: o próprio autor.

Figura 67 – Diferença entre formas de onda da corrente - Micro-ondas gerou evento.



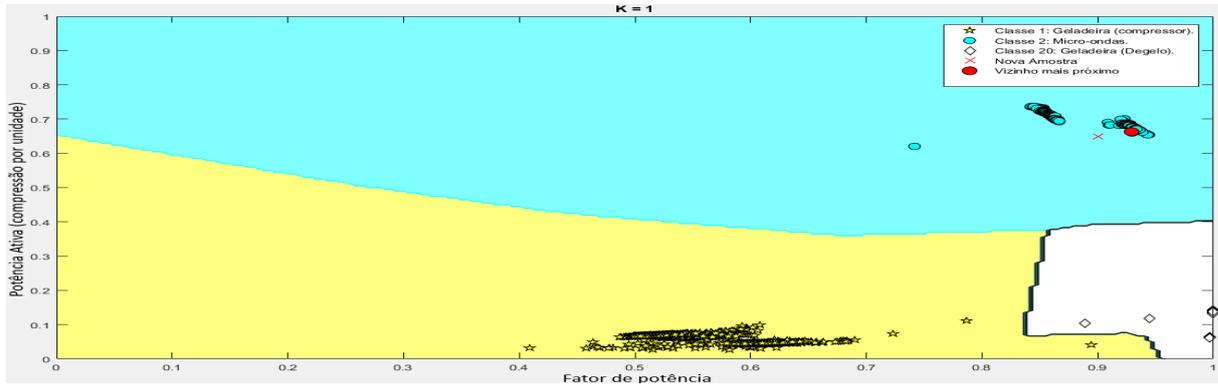
Fonte: o próprio autor.

Com a forma de onda resultante o algoritmo da CPT é executado com objetivo de obter os atributos para etapa de classificação de carga, indicado na Figura 68.

Considerando, por exemplo, que os parâmetros obtidos são: P igual 0.65 (em PU); PF, 0.9; QF, 0.25; VF, 0.3. No espaço bidimensional, considerando os parâmetros P e PF, essa amostra é indicada pela letra X na Figura 68. O resultado do KNN define a amostra mais próxima, indicada pelo círculo vermelho e com os parâmetros: P, 0.6630; PF, 0.9293; QF, 0.2356; VF, 0.2929.

No entanto, devido a avaliação de do estado atual em relação ao ultimo evento, alguns erros de classificação podem ocorrer. Por exemplo, na Figura 69 é mostrado o momento em que o micro-ondas é ligado (linha azul, 1380W). Posteriormente, a geladeira é ligada (linha verde, 1430W).

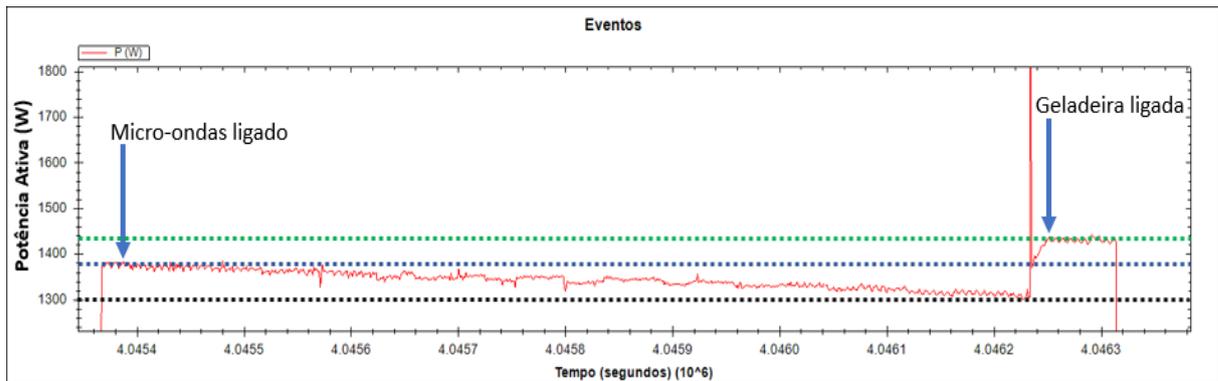
Figura 68 – Exemplo de classificação de carga.



Fonte: o próprio autor.

No instante de classificação do micro-ondas, a potência é maior do que no momento que antecede o evento da geladeira (linha preta, 1305). Isto é, a potência diminuiu em torno de 60W.

Figura 69 – Exemplo de classificação de carga.



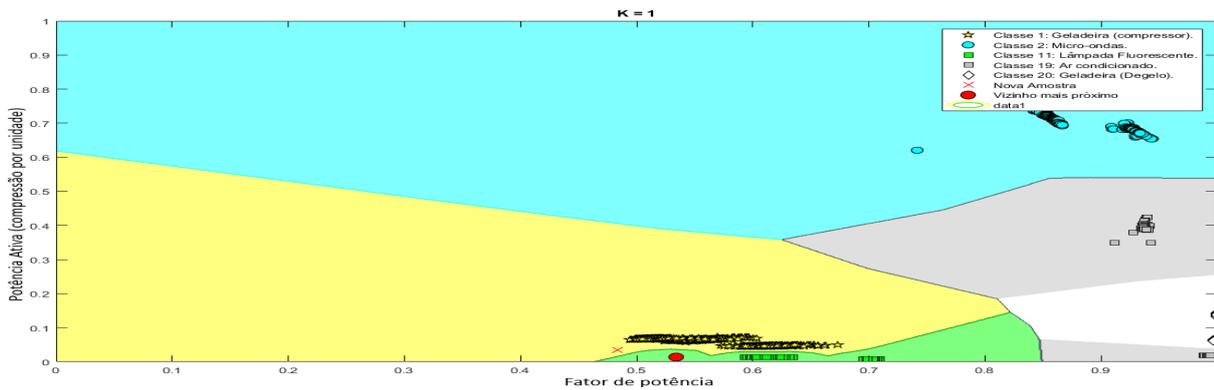
Fonte: o próprio autor.

Por isso, quando a geladeira foi ligada, os parâmetros obtidos para classificação foram definidos erroneamente. A diferença na potência ativa foi menor que a variação real, pois tomou-se como base de comparação um momento em que a potência era maior que no instante em que a geladeira entrou em operação.

Assim, os parâmetros de classificação foram os seguintes: P, 0.03481; PF, 0.4838; QF, 0.2762; VF, 0.8620. A localização da amostra é indicada na Figura 70. É claro que a classificação depende de outros dois parâmetros. Nesse caso, a localização indica (letra X) aparece dentro da região da classe 1. Contudo, o vizinho mais próximo dessa amostra foi (círculo vermelho): P, 0.0138; PF, 0.5341; QF, 0.2967; VF, 0.8152.

Considerando esses casos, o sistema de detecção dos eventos foi alterado para registrar o último estado estável observado antes de uma nova classificação.

Figura 70 – Exemplo de classificação de carga.

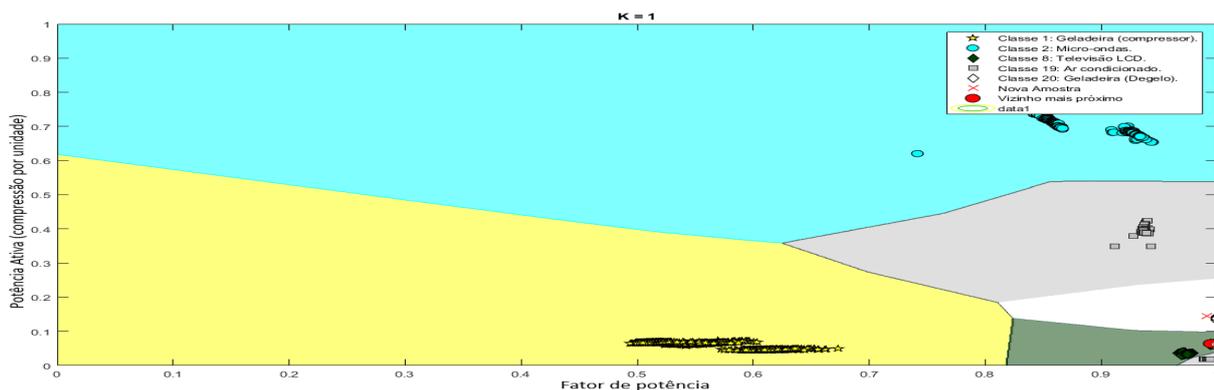


Fonte: o próprio autor.

Assim, reduz-se a possibilidade de ocorrer um erro de classificação devido a diferenças entre o estado do ultimo evento e a condição atual. De fato, a alteração proposta aumenta a exatidão do sistema de reconhecimento. Mesmo assim, alguns erros de classificação podem ocorrer devido a distribuição das cargas no espaço multidimensional. Isto é, a base de dados deve caracterizar completamente os estados das cargas.

Em outra situação ilustrada na Figura 71, um erro de classificação atribuiu o evento gerado pelo sistema de degelo para a classe que representa televisores LCD. Nesse evento, o parâmetro de potência ativa obtido pelo processamento das formas de ondas de tensão e corrente foi de 290W, sendo 20W acima do consumo médio obtido na fase de teste.

Figura 71 – Exemplo de classificação de carga.



Fonte: o próprio autor.

Na Figura, os parâmetros de classificação são: P, 0.1452; PF, 0.9912; QF, 0.0471; VF, 0.1409. O vizinho mais próximo (círculo vermelho) da amostra foi a classe 7: P, 0.0643; PF, 0.9943; QF, 0.0654; VF, 0.0834.

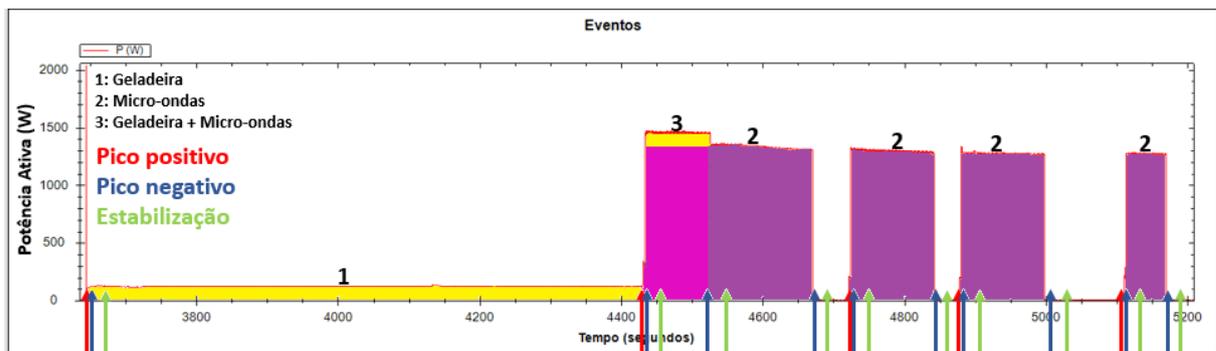
Diante disso, fortalece-se a concepção sobre atualização da base de dados, tendo como objetivo o aumento da exatidão das fronteiras de operação entre cada classe de equipamento. Tal condição potencializa a criação da base de dados remota (em nuvem),

tornando o sistema mais dinâmico. Pois, a base de dados remota facilita a atualização das informações, bem como a inserção de novas classes.

## 6.4 Desagregação do consumo

Com o mesmo exemplo utilizado para demonstrar o procedimento de detecção de evento, a Figura 72 ilustra o processo de desagregação de consumo. Como dito anteriormente, o consumo desagregado é calculado utilizando segmentos com amostras de potência ativa. Os segmentos são formados sempre que um evento — pico positivo — é detectado. Posteriormente, recebem uma classificação referente a carga que foi identificada no instante do evento. Na Figura 72, os segmentos que apresentam somente uma cor (números 1 e 2) são referentes aos instantes em que apenas uma carga está ativada.

Figura 72 – Desagregação de consumo.



Fonte: o próprio autor.

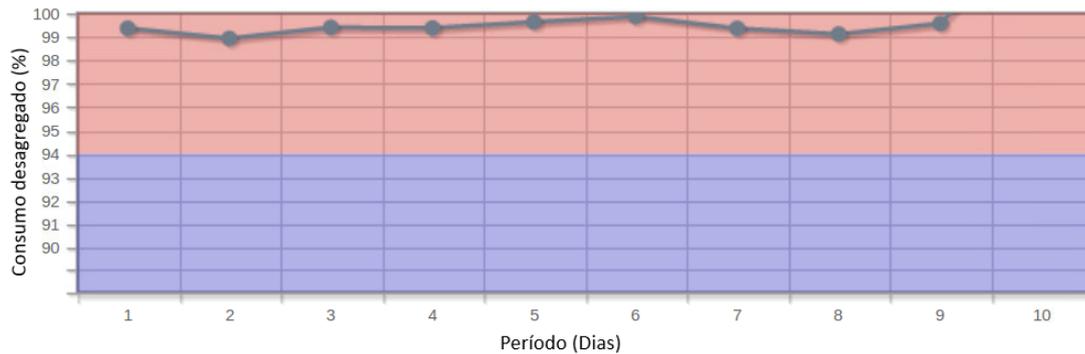
Na mudança do estágio 1 para o 3, um novo segmento é criado. Pois, nesse instante duas cargas estão presentes. Já na mudança do estágio 3 para o 2, a geladeira é desligada. Assim, um novo segmento é criado, considerando somente uma carga.

Devido ao evento de carga desligada, os blocos referentes a esta carga são analisados. Nesse caso, estão associados a geladeira os segmentos 1 e 3. No segmento 1, o consumo total pode ser calculado, pois existe somente uma carga. Já no segmento 3, toma-se como padrão o consumo médio do eletrodoméstico.

O mesmo vale para o micro-ondas. Isto é, ao ser desligado o consumo desagregado é calculado a partir de dois segmentos. Na sequência, os três últimos eventos são atribuídos somente para o micro-onda. Assim, o consumo total é avaliado.

Para validação da técnica de desagregação, calculou-se percentualmente a relação entre o consumo desagregado e o consumo total. Para tal, utilizou-se os dados de consumo armazenados a cada minuto que corresponderam a potência ativa média superior a 10W. A média percentual foi de 99.4%. Na figura 73 é mostrado o valor percentual para nove dias operação, em que a geladeira e o micro-ondas foram utilizados.

Figura 73 – Desagregação de consumo.



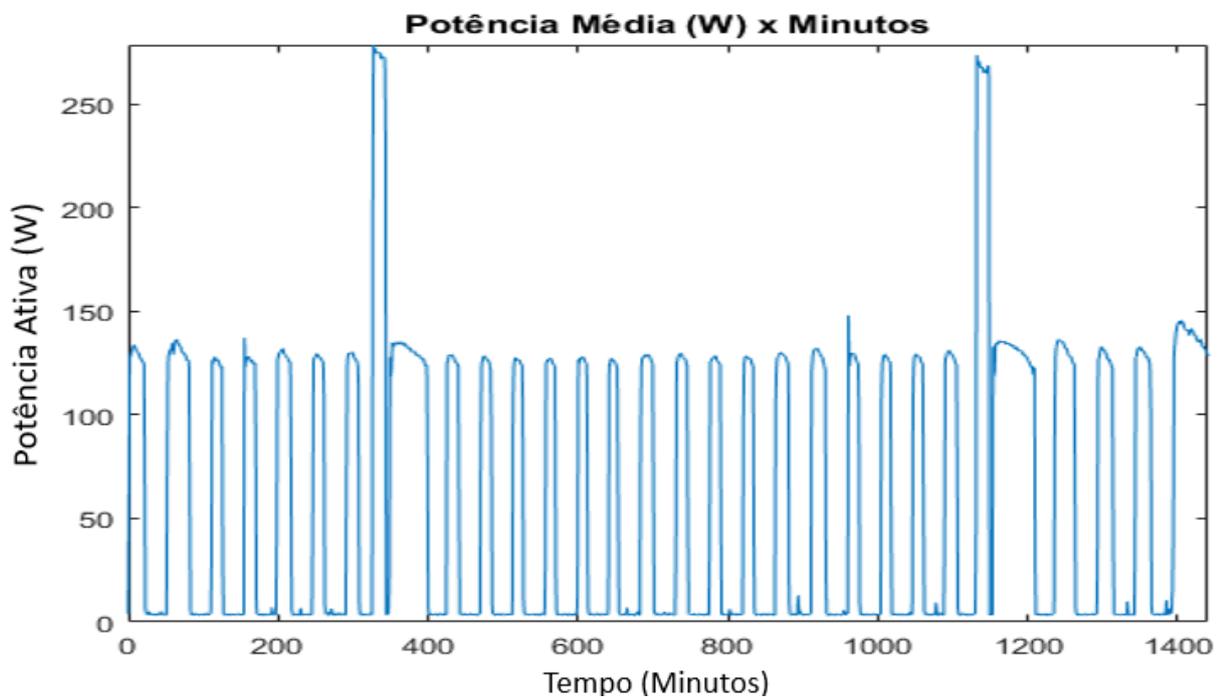
Fonte: o próprio autor.

## 6.5 Avaliação do consumo de energia

### 6.5.1 Geladeiras

De modo geral, as geladeiras foram analisadas durante 24 horas. Um exemplo do perfil de consumo dos equipamentos analisados é mostrado na Figura 74.

Figura 74 – Potência Ativa Média (W) - Teste de 24 horas.



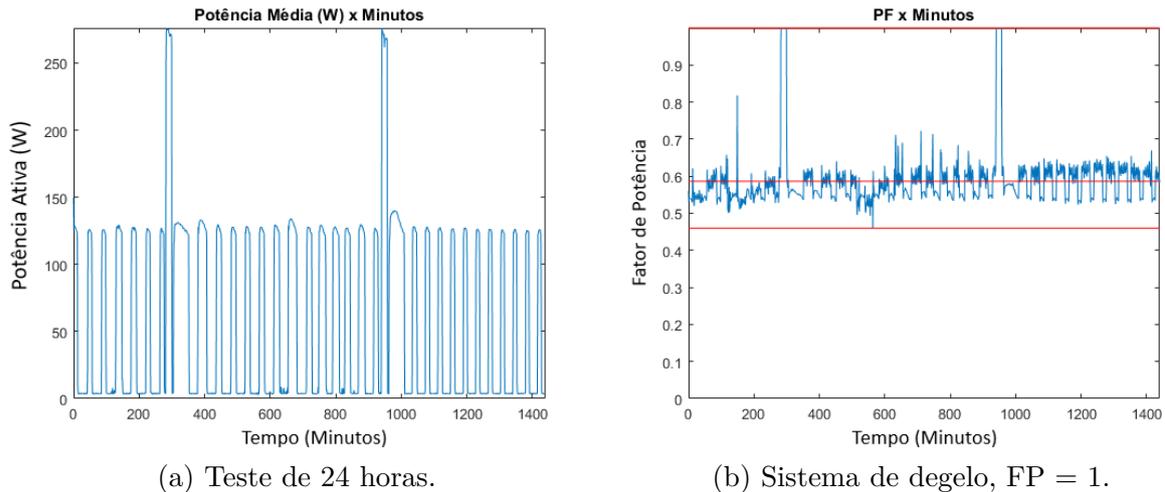
(a) Equipamento 1.

Fonte: o próprio autor.

As geladeiras de modelo frost-free apresentaram em alguns momentos o acionamento do sistema de degelo. Nesse momento o fator de potência é igual a 1.

Considerando isso, a geladeira pode apresentar tanto a característica de uma carga indutiva como de uma carga puramente resistiva. Cabe ainda ressaltar que o acionamento desse sistema foi detectado em duas situações. A primeira, o compressor estava ligado e devido ao acionamento do sistema de degelo foi desligado. A segunda, o compressor estava desligado e não entrou em operação durante o ciclo de degelo.

Figura 75 – Momentos em que o sistema de degelo é ativado - Teste de 24 horas.



Fonte: o próprio autor.

Com esse perfil de potência ativa média consumida durante o período de teste, a energia em todo processo pode ser calculada. Assim, o consumo atual da geladeira pôde ser relacionado com o indicado na ENCE. Isso pode ser obtido a partir da relação mostrada na Equação 6.1.

Nesse contexto, a geladeira pôde ser monitorada periodicamente para avaliar seu consumo médio e realizar operações de diagnóstico.

#### 6.5.1.1 Avaliação do consumo da geladeira

A Geladeira Brastemp Duplex Frost-Free BRM47 possui capacidade de armazenagem total de 403 litros, sendo 317 litros do compartimento refrigerador e 86 litros do freezer (três estrelas). O consumo ( $C$ ) dessa geladeira é de 53 kWh/mês e o índice de eficiência energética ( $I_e$ ) é 0,779. Em 2008, ano em que a geladeira comprada, a classificação de eficiência energética era A. Considerando isso, o consumo padrão é definido por:

$$C_p = \frac{C}{I_e} = \frac{53 \text{ kWh/mês}}{0,779} = 68,036 \text{ kWh/mês} \quad (6.1)$$

Pela equação 4.39, o consumo padrão da geladeira, considerando os fatores ‘a’, ‘b’ e ‘f’ destacados nas Tabelas 11 e 10, é dado por:

$$V_r = 1,2 \times 317 = 380,4 \text{ litros}$$

$$V_c = 1,2 \times 86 \text{ litros} = 103,2 \text{ litros}$$

$$f = 1,85 \text{ para três estrelas}$$

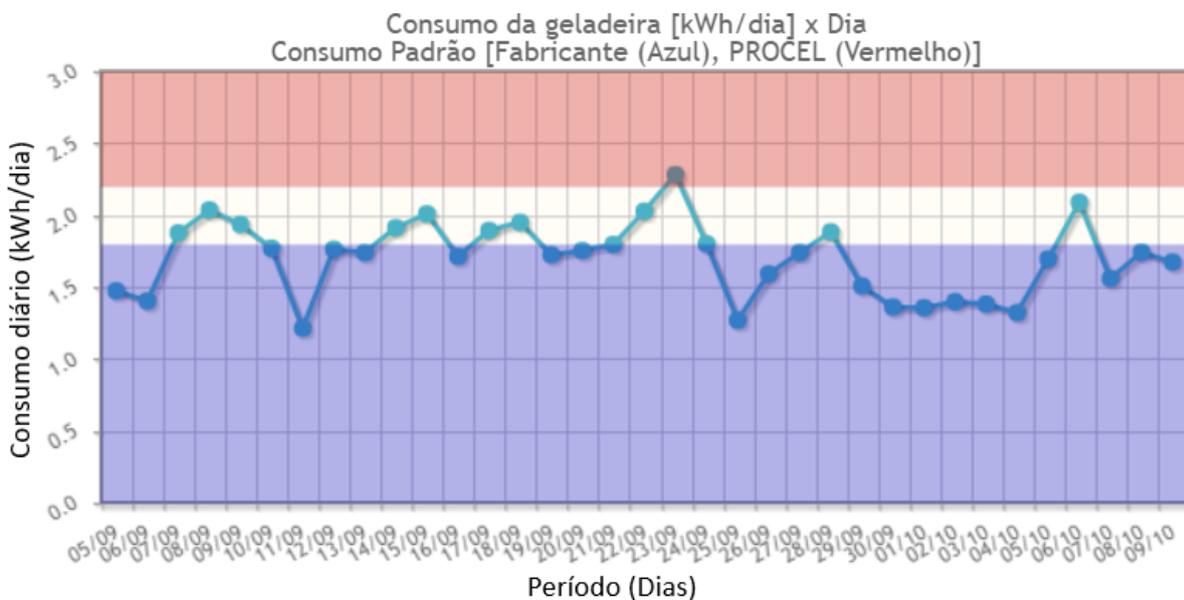
$$AV = 571,32 \text{ litros}$$

$$C_p = a \times AV + b = 0,1059 \times 571,32 + 7,4862 = 67,989 \text{ kWh/mês}$$

Considerando esses resultados, a geladeira foi analisada durante, aproximadamente, um mês. Como indicado na Figura 76, somente em um dia o consumo foi maior que o padrão estabelecido no selo.

Cabe ressaltar que em três momentos o procedimento foi interrompido. Em dois casos, a interrupção foi maior que três horas, influenciando no valor de consumo da geladeira nos dias 11 e 25 de Setembro.

Figura 76 – Consumo da geladeira.

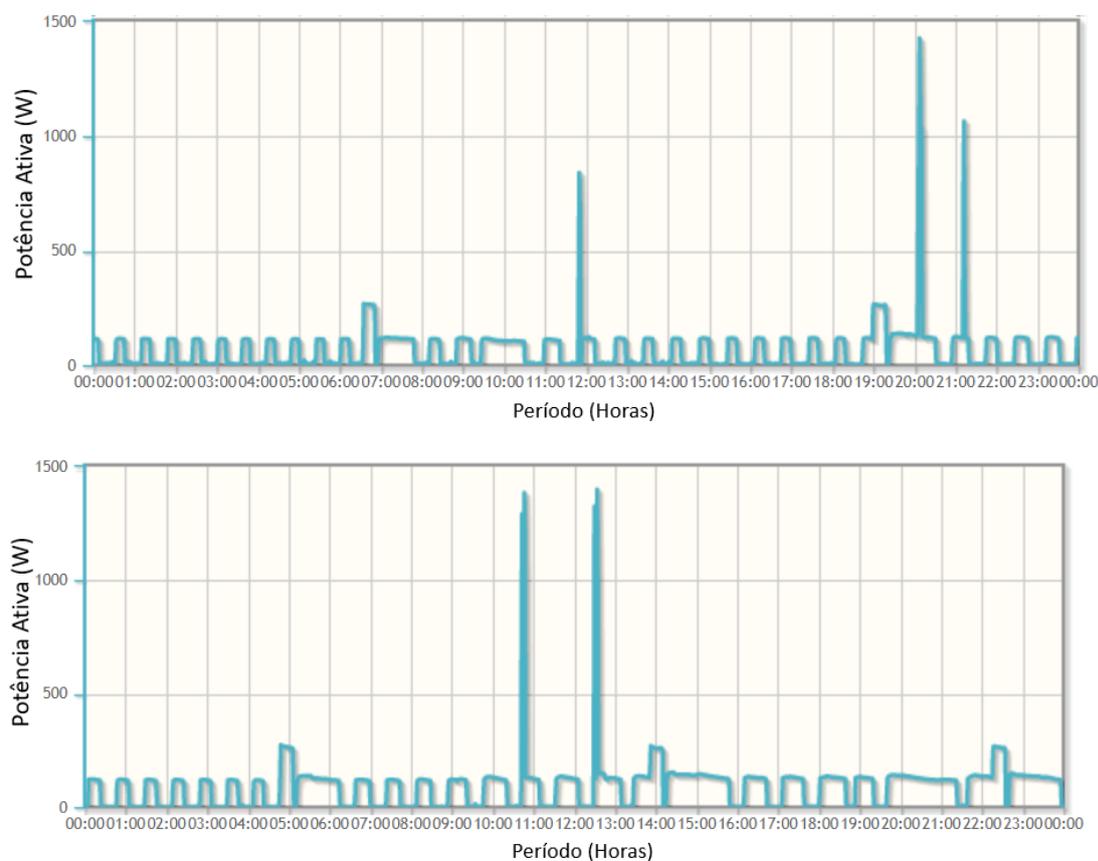


Fonte: o próprio autor.

Observou-se que a duração ciclos de refrigeração aumentaram nos períodos de maior consumo. Como consequência disso, a quantidade de ciclos diários diminui. Isso é ilustrado na Figura 77. Vale ressaltar que os picos de potência apresentados nessas duas figuras correspondem a operação do micro-ondas.

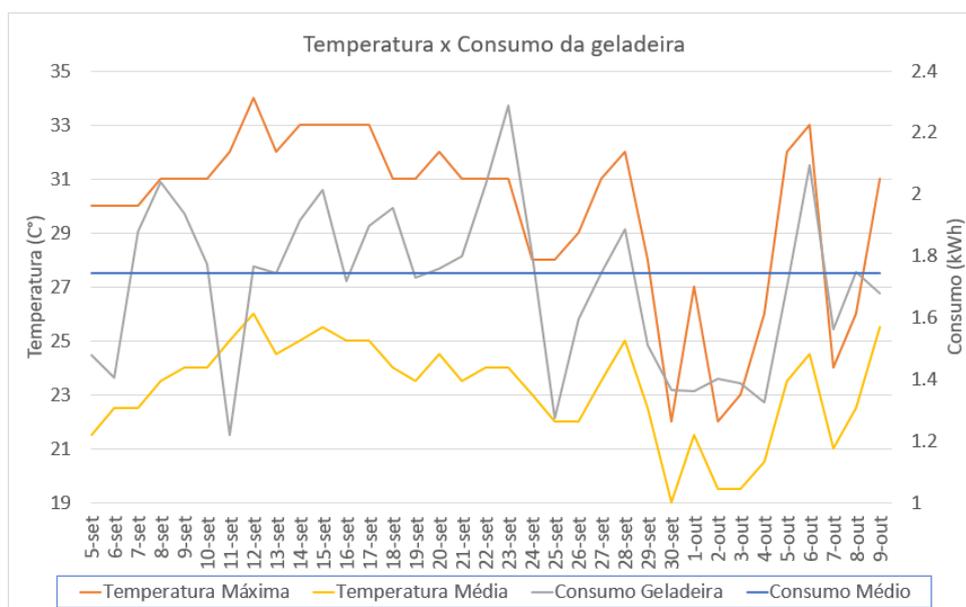
Analisando informações de temperatura para cidade de Sorocaba nos dias em que o sistema permaneceu ativo (5/9/2017 a 9/10/2017), nota-se, à primeira vista, que o consumo da geladeira segue a variação de temperatura. A relação entre a temperatura e o consumo da geladeira é mostrada na Figura 78.

Figura 77 – Consumo padrão — Potência Ativa (W) x Horário.



Fonte: o próprio autor.

Figura 78 – Desagregação de consumo.



Fonte: o próprio autor.

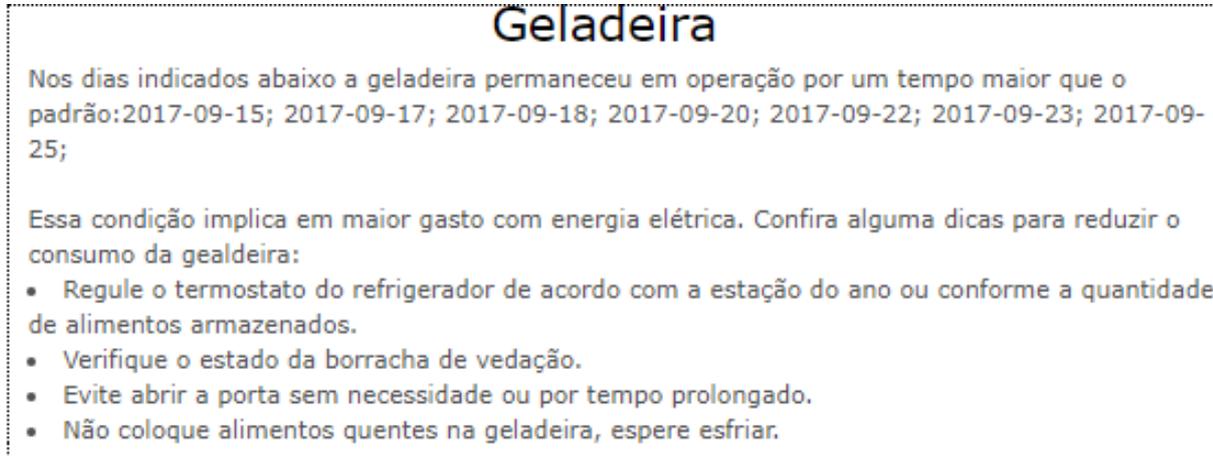
Além disso, também houve maior consumo em dias que a geladeira recebeu uma grande quantidade de alimentos. De modo geral, a geladeira analisada manteve o consumo médio próximo do especificado pelo fabricante.

#### 6.5.1.2 Sugestões e recomendações

Utilizando as informações sobre a quantidade de ciclos de refrigeração obteve-se os dias em que a geladeira apresentou consumo elevado. Com isso, as seguintes recomendações foram criadas no sistema supervisorio (Figura 79):

1. Regule o termostato do refrigerador de acordo com a estação do ano ou conforme a quantidade de alimentos armazenados;
2. Verifique o estado da borracha de vedação;
3. Evite abrir a porta sem necessidade ou por tempo prolongado;
4. Não coloque alimentos quentes na geladeira, espere esfriar.

Figura 79 – Sugestões e recomendações: Geladeira.



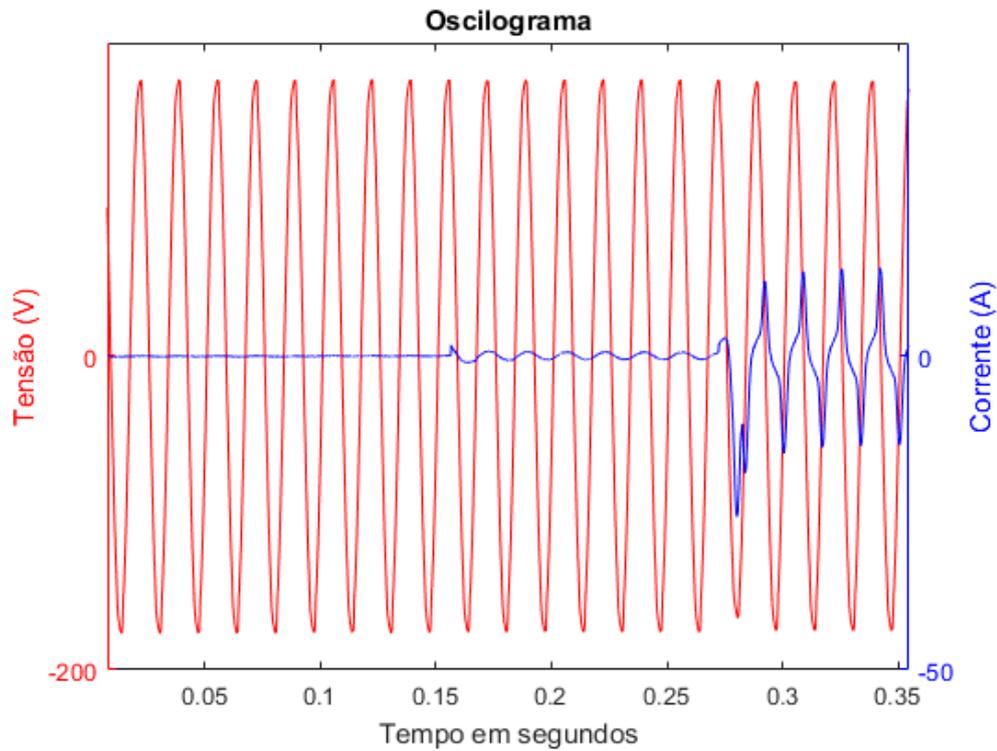
Fonte: o próprio autor.

Cabe ressaltar que o consumidor também tem acesso ao gráfico de consumo de energia elétrica referente a geladeira 76. Com isso é possível verificar os dias indicados com consumo superior ao padrão.

#### 6.5.2 Micro-ondas

Como dito anteriormente, os micro-ondas residenciais apresentam partida fria, em que a válvula magnétron é aquecido durante dois segundos (ALMEIDA, 2016). O oscilograma no momento da partida fria é mostrado na Figura 80.

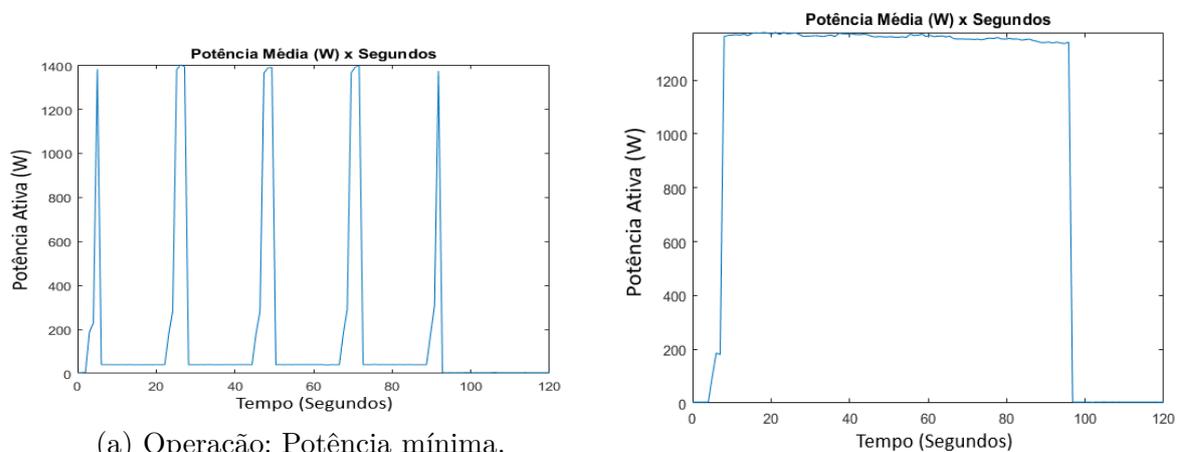
Figura 80 – Oscilograma — Partida Fria.



Fonte: o próprio autor.

Após esse ciclo, o micro-ondas entra em regime de dois estados. Durante a etapa de testes verificou-se que a potência do micro-ondas se mantém independente de sua configuração. A alteração do nível de potência influencia apenas no período em que o sistema de geração de micro-ondas permanece ligado. Isso é ilustrado na Figura 81.

Figura 81 – Potência ativa média — Micro-ondas em condições diferentes de operação.



(a) Operação: Potência mínima.

(b) Operação: Potência máxima.

Fonte: o próprio autor.

### 6.5.2.1 Avaliação do consumo do micro-ondas

Os aparelhos de micro-ondas utilizados nesta etapa são da mesma marca e do mesmo modelo. No entanto, os dois aparelhos possuem registros diferentes no INMETRO, bem como classificações de eficiência energética distintas. Um aparelho é classe A. O outro, classe B<sup>1</sup>. Os selos dos dois aparelhos são mostrados na Figura 82.

Figura 82 – Selo dos aparelhos de micro-ondas analisados.



Micro-ondas classe A.

Micro-ondas classe B.

Fonte: o próprio autor.

### Micro-ondas classe A

Algumas características do micro-ondas classe A são listadas abaixo:

- Marca e modelo: Brastemp Ative! (BMS45BBHNA);
- Nível de eficiência energética: 60%, classe A;
- Potência útil: 820W;

<sup>1</sup> Embora o índice Eficiência Energética seja de 56%, a classificação é B. A ouvidoria do INMETRO não respondeu ao questionamento realizado.

- Potência nominal: 1350W;
- Número de registro do objeto: 005840/2016.

Com essas informações, o nível médio de eficiência energética foi calculado utilizando a equação 4.43. Com isso, foram analisados todos os eventos associados ao micro-ondas com período superior a 1 minuto. Como resultado, obteve-se nível médio de eficiência energética igual a 60,09%.

### ***Micro-ondas classe B***

As características do micro-ondas classe B são:

- Marca e modelo: Brastemp Ative! (BMS45BBHNA);
- Nível de eficiência energética: 56,2%;
- Potência útil: 820W;
- Potência nominal: 1350W;
- Número de registro do objeto: 003757/2013.

Utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente, obteve-se nível médio de eficiência energética igual a 55,9%.

#### 6.5.2.2 Sugestões e recomendações

De fato, obteve-se boa aproximação do índice de eficiência energética do aparelho de micro-ondas. Com isso, alterações no índice de eficiência podem ser monitoradas. Tendo em vista que o aparelho tem alto consumo, as seguintes recomendações foram criadas no sistema supervisorio (Figura 83):

1. Retire os alimentos do freezer com antecedência, evitando o descongelamento com o auxílio do micro-ondas.
2. Para obter o máximo de rendimento e impedir o superaquecimento, não obstrua a saída de ar do aparelho.
3. Mantenha a superfície interna do forno sempre limpa a fim de permitir um cozimento mais eficiente.

Figura 83 – Sugestões e recomendações: Micro-ondas.

### Micro-ondas

Nos últimos 7 dias a média de uso do micro-ondas foi de 8,06 minutos.  
O aparelho de micro-ondas é de potência alta.  
Portanto, fique de atento! Quanto maior o tempo de uso, maior será o consumo de energia elétrica.

Confira algumas dicas:

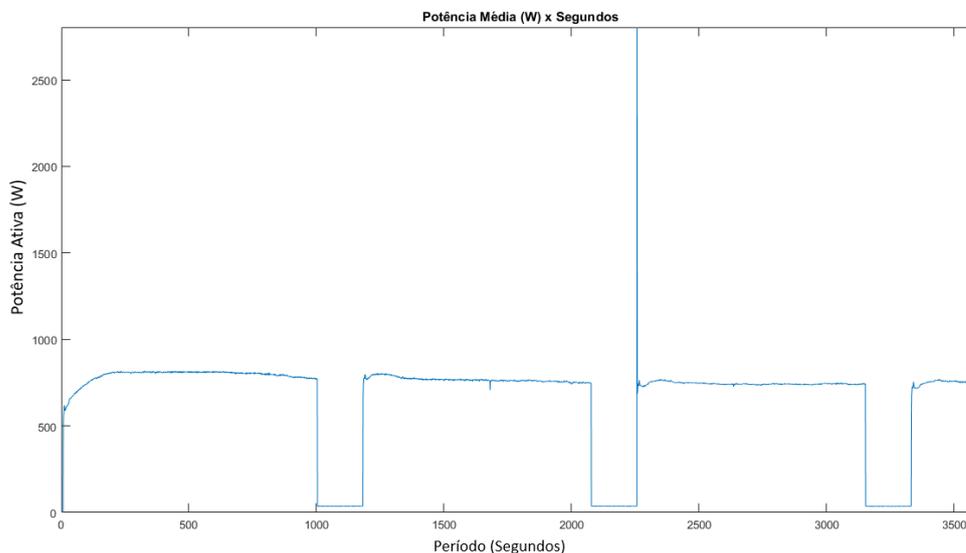
- Retire os alimentos do freezer com antecedência, evitando o descongelamento com o auxílio do micro-ondas.
- Para obter o máximo de rendimento e impedir o superaquecimento, não obstrua a saída de ar do aparelho.
- Mantenha a superfície interna do forno sempre limpa a fim de permitir um cozimento mais eficiente.

Fonte: o próprio autor.

### 6.5.3 Condicionadores de ar

O sistema de ar condicionado possui dois sistemas principais: refrigeração e ventilação. A variação de potência ativa durante o período de teste é mostrado na Figura 84.

Figura 84 – Potência ativa média - Ar condicionado.



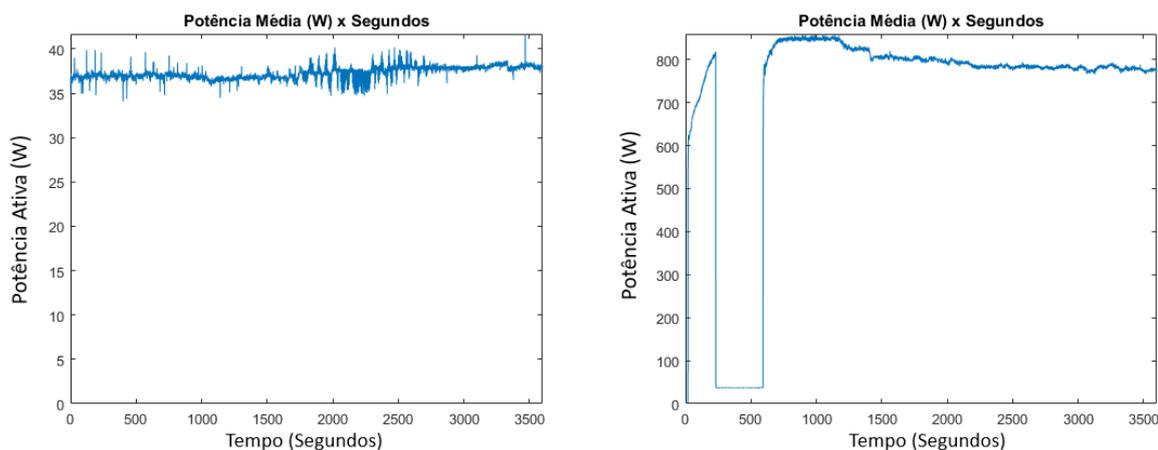
Fonte: o próprio autor.

O estágio de refrigeração é caracterizado pela operação do compressor. Nesse estado, a potência é alta e a corrente apresenta-se atrasada em relação a tensão.

O sistema de ventilação, responsável pela circulação do ar, representa o período de menor consumo. A alternância entre esses dois ciclos depende a temperatura do ambiente, pois o ar condicionado opera de forma a manter a temperatura programada.

Assim, o ciclo de refrigeração pode apresentar períodos diferentes. Por exemplo, quando a temperatura é maior que a programada, somente a ventilação será mantida. Isso pode ser visto na Figura 85a, em que durante uma hora de operação o compressor não teve que ser acionado. Já na Figura 85b, após alterar a temperatura desejada durante a operação, o compressor manteve-se ligado.

Figura 85 – Potência ativa média - Micro-ondas em condições diferentes de operação.



(a) Sistema de ventilação.

(b) Sistema de refrigeração.

Fonte: o próprio autor.

Sabendo disso, o consumo total durante o período de avaliação pode ser calculado, considerando os dois estados de operação ou de modo individual. Conforme a capacidade de refrigeração do equipamento e seu índice de eficiência energética, o consumo estimado é comparado com o padrão estabelecido segundo a equação 4.42.

### 6.5.3.1 Avaliação do consumo do ar condicionado split

Embora adicionado na base de conhecimento o ar condicionado portátil não possui a ENCE. Assim, um aparelho de ar condicionado modelo split foi testado. De modo geral, as características do ar condicionado portátil permitiram a identificação desse outro modelo.

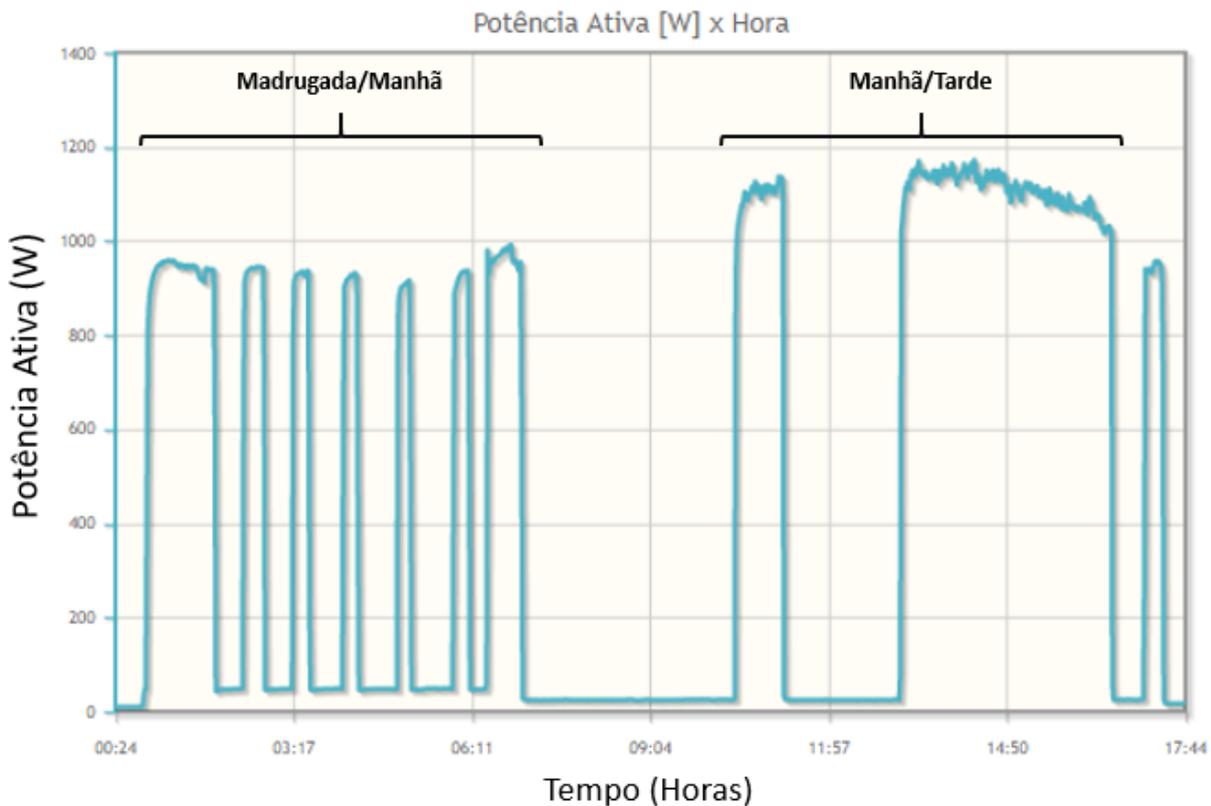
A seguir são apresentadas as especificações do aparelho analisado:

- Marca e modelo: Consul, CBV12CBBNA;
- Nível de eficiência energética: 3,21; classe B;
- Capacidade de refrigeração nominal: 3,52 kW (12000 BTU/h);
- Potência elétrica: 1096W;
- Consumo de energia: 23 kWh/mês (considerando 1 hora por dia).

Na Figura 86 é mostrada a operação do ar condicionado em dois momentos distintos. No primeiro, o aparelho permaneceu ligado durante a madrugada e devido a temperatura amena (em torno de  $17^{\circ}\text{C}$ ) o regime de operação intermitente. No segundo, o aparelho permaneceu operando continuamente. Nesse caso, a temperatura estava alta (próximo de  $32^{\circ}\text{C}$ ).

Nota-se também que a potência ativa média é maior no período em que a temperatura estava elevada.

Figura 86 – Potência ativa média - Ar condicionado split.



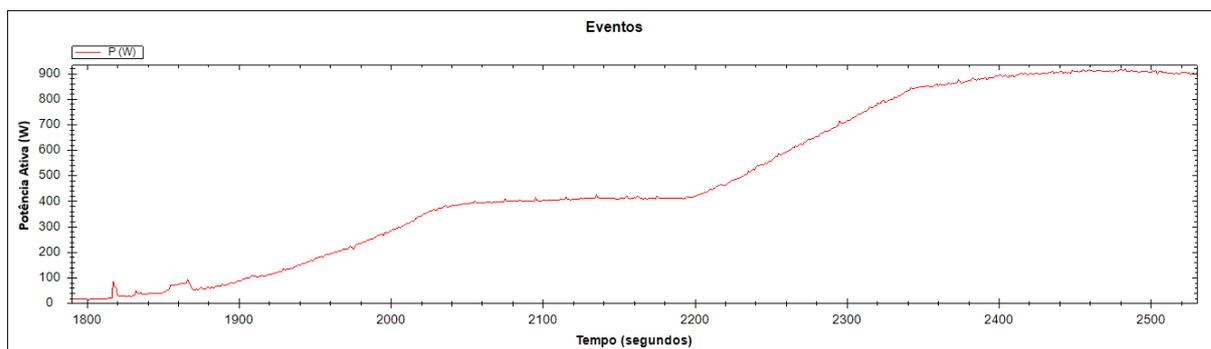
Fonte: o próprio autor.

No período de avaliação o consumo estimado para o ar condicionado foi de 4,39 kWh. Esse consumo representa mais de 11 horas de uso durante sete dias. Com isso, a média de consumo por hora é de aproximadamente 1,02 kW. Nesse caso, o consumo foi maior que o estabelecido na etiqueta.

### 6.5.3.2 Estudo de caso: ar condicionado split inverter

Diferentemente dos outros dois equipamentos avaliados, o de tecnologia inverter varia lentamente o aumento de consumo de potência ativa. Com isso, o equipamento apresenta longas rampas de subida e descida durante sua operação. Um exemplo de rampa de subida é mostrado na Figura 87.

Figura 87 – Acionamento - Ar condicionado inverter.

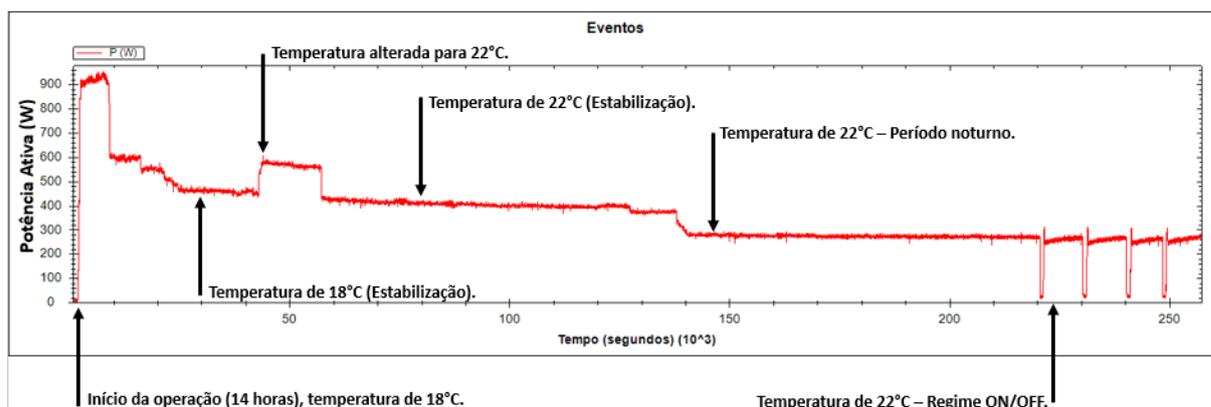


Fonte: o próprio autor.

Considerando isso, o equipamento foi testado durante três dias. Na Figura 88 é apresentado perfil de consumo de um equipamento com as seguintes especificações:

- Marca e modelo: HITACHI, RACIV09B;
- Nível de eficiência energética: 3,54; classe A;
- Capacidade de refrigeração nominal: 2,64 kW (9000 BTU/h);
- Potência elétrica: 745W;
- Consumo de energia: 15,6 kWh/mês (considerando 1 hora por dia).

Figura 88 – Potência ativa média - Ar condicionado inverter.



Fonte: o próprio autor.

Nota-se que o equipamento não possui comportamento padrão de ligar e desligar o compressor, exceto quando o equipamento não precisa operar para manter a temperatura especificada. Isto é, o consumo varia conforme a necessidade de atingir a temperatura desejada e também do consumo médio para manutenção dessa condição.

Tal comportamento não pôde ser detectado pelo algoritmo proposto. Com análise em tempo real, esse perfil de operação dificulta a detecção do evento, pois verificou-se que ocorrem rampas com duração superior a três minutos. Por outro lado, a análise posterior ao consumo pode facilitar a identificação do equipamento, pois seria possível verificar o início e fim da operação.

Mesmo assim, cabe realizar análise do perfil de consumo e a verificação da ENCE. Assim, considerando o uso diário durante uma hora, o consumo do equipamento não deve superar 0,520 kWh.

Analisando as primeiras horas de teste — regime contínuo — o consumo total registrado foi de 0,457 kW por hora. Posteriormente, o consumo registrado foi menor devido aos ciclos de operação.

Diante disso, para esse tipo de equipamento, deve-se considerar o consumo médio apresentado em mais de um dia de operação.

### 6.5.3.3 Sugestões e recomendações

A avaliação de eficiência energética do ar condicionado depende exclusivamente da relação entre a capacidade de refrigeração e a potência nominal. Portanto, o índice de eficiência energética é calculado considerando os parâmetros indicados na tabela do PROCEL.

Assim sendo, as sugestões e recomendações para esses equipamentos devem considerar o consumo total registrado e a comparação com o consumo padrão do equipamento.

Em situações que o consumo registrado for superior ao padrão, as seguintes notificações são efetuadas para o consumidor:

- Desligue o aparelho quando o ambiente estiver desocupado;
- Mantenha janelas e portas fechadas quando o ar-condicionado estiver funcionando;
- Evite o calor do sol no ambiente fechando cortinas e persianas.
- Não tape a saída de ar do aparelho;
- Proteja a parte externa do ar condicionado da incidência do sol, sem bloquear as grades de ventilação.

Essas recomendações são mostradas na Figura 89.

Figura 89 – Sugestões e recomendações: Ar condicionado.

**Ar condicionado**

Nos últimos 7 dias a média de uso do ar condicionado foi de 0,61 horas/dia. Este ar condicionado apresentou consumo superior ao indicado na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia: 1,02 kWh. O padrão é 0,767 kWh.

O aparelho de ar condicionado consome muita energia, nesse período o consumo foi de 4,39kWh. Portanto, fique de atento! Quanto maior o tempo de uso, maior será o consumo de energia elétrica.

Confira algumas dicas:

- Desligue o aparelho quando o ambiente estiver desocupado.
- Mantenha janelas e portas fechadas quando o ar condicionado estiver funcionando.
- Evite o calor do sol no ambiente fechando cortinas e persianas.
- Não tape a saída de ar do aparelho.
- Proteja a parte externa do ar condicionado da incidência do sol, sem bloquear as grades de ventilação.

Fonte: o próprio autor.

## 6.6 Conclusões Parciais

Na avaliação do protótipo, o sistema de aquisição de dados mostrou-se robusto, pois consegue realizar a amostragem dos sinais de tensão e corrente durante o período de 1 segundo. Isso, é claro, repete-se continuamente enquanto a aplicação principal se encarrega de processar os algoritmos da CPT e de Goertzel. Conforme atributos gerados por esses algoritmos, as cargas podem ser diferenciadas umas das outras. Assim, durante a fase inicial do projeto, o sistema foi validado e um conjunto de equipamentos foi ensaiado.

As informações coletadas resultaram na base dados que possibilita diferenciar as cargas de interesse de outras cargas presentes em residências. Além dos atributos obtidos, essa etapa foi importante para conhecer o modo de operação de cada carga, pois em algumas situações o comportamento destas pode variar. Cabe destacar que a base de dados foi reavaliada após a conclusão que é necessário representar os estados de operação de um eletrodoméstico. Assim, as classes representam o eletrodoméstico e as sub-classes definem os estados de operação.

Com a base de atributos formada, desenvolveu-se o algoritmo de monitoramento de eventos. Esse algoritmo verifica as alterações no nível de potência e analisa as modificações que ocorreram em relação ao último estado monitorado, com objetivo de caracterizar a carga que causou tal evento. Com essas informações o algoritmo de classificação KNN foi utilizado para atribuir a classe da respectiva carga.

Monitorando os eventos, o acompanhamento da operação individual de cada carga tornou-se possível. Sabendo o momento em que os eventos foram detectados e o modo de operação da carga classificada, o consumo de energia da carga pode ser estimado utilizando

a técnica de desagregação por blocos.

Assim sendo, a formação da base de conhecimento e a análise das técnicas de monitoramento e desagregação de consumo serviram, essencialmente, para validação do protótipo do medidor cognitivo de energia elétrica. Sobre a metodologia proposta é importante destacar que:

1. A técnica proposta para monitorar eventos mostrou-se robusta, principalmente para cargas de potência alta. No entanto, alguns tipos de cargas apresentaram comportamento que não pôde ser detectado. Por exemplo, cargas de baixa potência ou que aumentam o consumo gradualmente. Para as cargas de interesse, a técnica mostrou-se efetiva.
2. O mesmo pode ser dito sobre a metodologia de desagregação. A base de conhecimento foi composta por cargas que tem consumo constante. Com isso, a metodologia de desagregação por blocos teve boa exatidão, apresentando média acima de 99% para o monitoramento de três cargas.
3. Além dos equipamentos analisados para base de conhecimento, outros eletrodomésticos de operação semelhante foram reconhecidos pelo medidor.

Por fim, as informações de consumo desagregado foram utilizadas para comparação do padrão especificado na ENCE:

- Para geladeira, o monitoramento durante um mês resultou em consumo médio próximo do especificado pelo fabricante. Além disso, quando consumo da geladeira foi superior ao indicado, algumas recomendações foram apresentadas no sistema supervisorio.
- A eficiência do micro-ondas também pôde ser calculada com exatidão. Por ser considerada uma carga de grande consumo apresentaram-se algumas dicas para consumidor, destacando o tempo de uso do aparelho em um período de 7 dias.

## 6.7 Considerações Finais

É importante ao final desta dissertação realizar uma análise no cenário nacional e projetar a viabilidade de implantação da proposta. Como apresentado inicialmente, o modelo de Rede Inteligente de Energia vem sendo debatido no mundo todo, e já está em ascensão em muitos países classificados como desenvolvidos.

No Brasil, pode-se dizer que houve uma pequena movimentação nesta direção, sendo impulsionado principalmente pelas novas propostas de tarifação — tarifação branca

— para consumidores do Grupo B (residencial, rural e demais classes, com exceção da iluminação pública e baixa renda) (LEITE, 2013). Assim, com a publicação da resolução 502/2012 da ANEEL, foi regulamentado o uso de sistemas de medição eletrônica de energia elétrica para os consumidores do Grupo B (FORTES et al., 2017). Desta resolução destaca-se que (ANEEL, 2012b):

- O sistema de medição das unidades consumidoras enquadradas na modalidade tarifária branca deve apurar o consumo de energia elétrica ativa em pelo menos 4 (quatro) postos tarifários;
- A apresentação de informações ao consumidor deve ser disponibilizada por meio de mostrador existente no próprio medidor ou em dispositivo localizado internamente à unidade consumidora;
- Devem ser exibidos o valor de energia elétrica ativa consumida acumulada por posto tarifário e a identificação do posto tarifário corrente;
- A critério da distribuidora, as informações podem ser adicionalmente disponibilizadas por meios alternativos com vistas a facilitar o acesso às informações pelo consumidor.

No entanto, não existem determinações regulatórias que especificam as funcionalidades mínimas de um medidor inteligente. Dessa maneira, tais medidores são implantados sem agregar muitas funções, tornando-se elementos somente para fins de tarifação e não como ferramenta de gestão de consumo.

Cabe ainda ressaltar que este tipo de tecnologia possibilita ao consumidor tornar-se também um produtor, utilizando sistemas de geração distribuída. Essa função é destacada por Souza (SOUZA, 2016) e apontada como funcionalidade de um medidor cognitivo.

De fato, a implantação desse tipo de tecnologia deve levar em consideração os aspectos econômicos e regulatórios. É importante destacar que “os custos trazidos com uma eventual obrigatoriedade para implantação em larga escala dos medidores, fatalmente impactarão nas tarifas de eletricidade” (ANEEL, 2012a). Diante disso, deve-se considerar que 40% das 70 milhões de unidades consumidoras são classificadas como baixa renda (RIGODANZO, 2015).

Assim sendo, é importante indicar o resultado de alguns trabalhos de análise de impacto e viabilidade de adoção dos medidores inteligentes. Para Leite (LEITE, 2013), a substituição dos medidores convencionais por modelos mais modernos em todos os consumidores viabiliza-se com os benefícios advindos da tarifa branca. Para Rigodanzo (RIGODANZO, 2015), a conscientização do consumidor em relação ao consumo nos horários de pico poderá vir a ser um investimento com rápido retorno econômico. Por fim, Fortes et al. (FORTES et al., 2017) aponta que a aplicação de medidores inteligentes em

conjunto com novos modelos de tarifação induzem uma mudança na curva de carga diária, possibilitando melhor uso e gestão da infraestrutura do setor elétrico.

## 7 Conclusão

Com ênfase em questões relacionadas à eficiência energética, a proposta desse trabalho foi analisar algumas das principais fontes de consumo de energia elétrica em uma residência. Para tal, desenvolveu-se um medidor cognitivo de energia elétrica, empregando técnicas que possibilitam desagregar, identificar e caracterizar essas cargas residenciais, com intuito de verificar se essas operam dentro dos padrões de eficiência energética definidos pelo Procel. À vista disso, foram escolhidas três cargas principais, considerando o impacto no consumo de energia residencial: geladeiras, aparelhos de micro-ondas e condicionadores de ar.

A revisão bibliográfica indicou as técnicas que podem ser aplicadas no monitoramento de cargas residenciais, sendo categorizadas como intrusivas, não intrusivas e semi-intrusivas. A técnica aplicada foi a de monitoramento não intrusivo de cargas, na qual o elemento medidor analisa o consumo total de todos os equipamentos conectados à rede com objetivo de realizar a desagregação do consumo de energia elétrica.

Entre as propostas estudadas, considerou-se o medidor inteligente cognitivo residencial desenvolvido por Souza (SOUZA, 2016). Nessa proposta, o sistema de identificação de cargas representa um eletrodoméstico utilizando informações de potência ativa, fator de potência, fator de reatividade e fator de não linearidade, obtidos pela Teoria de Potência Conservativa. Explorando sua aplicação no setor residencial, Souza (SOUZA, 2016) desenvolveu sistema de supervisão de consumo para fornecer informações detalhadas para o consumidor residencial.

À vista disso, o protótipo de medidor cognitivo desenvolvido apresentou melhoramentos no sistema de aquisição de dados e explorou a utilização do consumo desagregado para avaliação do consumo padrão de eletrodomésticos de interesse, utilizando as informações especificadas na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Por fim, a utilização do protótipo possibilitou o desenvolvimento das propostas e a conclusão dos objetivos estabelecidos. Com resultado obtido em ambiente de testes, o trabalho aponta para utilização de medidores de energia como meio de comunicação com o consumidor residencial uma vez que o dispositivo medidor pode ser utilizado para fornecer sugestões e recomendações, bem como avaliar consumo e realizar diagnósticos de operação dos eletrodomésticos.

## 7.1 Contribuições

A principal contribuição foi apresentar a utilização do medidor de energia elétrica para monitorar eletrodomésticos e avaliar o consumo padrão apresentado na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Com isso, um canal de comunicação com o consumidor pôde ser estabelecido para fornecer sugestões e recomendações sobre o eletrodoméstico, bem como para conscientizar-se em relação ao consumo de energia elétrica.

Além disso, a metodologia proposta para realizar a desagregação do consumo de energia, denominada desagregação por blocos, mostrou-se eficiente para cargas que não apresentam variações significativas no consumo. Cabe ainda ressaltar que a desagregação é realizada no instante em que a carga é monitorada.

## 7.2 Trabalhos futuros

Devido a simplicidade do algoritmo de monitoramento de eventos, variações graduais e lentas do consumo de potência ativa não são detectadas. Assim, novas metodologias podem ser estudadas para identificar esses comportamentos. Como consequência disso, a metodologia de desagregação por blocos pode ser reestruturada para considerar cargas de consumo variável.

Outra questão apontada no trabalho está relacionada eletrodomésticos que apresentam vários modos de operação. Como indicado no caso da geladeira, a solução foi criar uma máquina de estados. Tal condição implica em criar um sistema estático e dependente do comportamento da carga. Nesse sentido, a arquitetura de uma máquina de estados configurável em tempo de execução pode ser utilizada.

Além disso, destacou-se que a base de conhecimento pode ser atualizada dinamicamente. Com isso, as fronteiras de decisão entre classes podem ser aperfeiçoadas para eliminar erros de classificação. Outra possibilidade é a inserção de novas classes na base de conhecimento. Para tal, um modelo com a base de conhecimento hospedada remotamente (em nuvem) pode ser elaborado. Assim, o medidor cognitivo poderá acessar a base de dados remota periodicamente com objetivo de atualizar a base de dados local, facilitando o procedimento de classificação.

As cargas de interesse foram selecionadas considerando o impacto no consumo de energia residencial. No entanto, grande parte dos condicionares de ar são bifásicos. Embora esses aparelhos tenham sido avaliados no trabalho, o sistema proposto é de um medidor monofásico. Diante disso, o sistema pode ser alterado para medir mais de uma fase. Como consequência, os algoritmos da CPT e a metodologia de classificação de cargas devem ser alterados para suportar o sistema bifásico.

Nesse contexto, as cargas de interesse podem ser determinadas pelo usuário. Para

tal, uma interface de cadastro de eletrodomésticos pode ser criada para registrar no medidor os parâmetros da ENCE.

Em relação ao procedimento realizado para monitorar os eletrodomésticos, é interessante fazer um estudo considerando período superior a um ano. Pois, como destacado, o consumo de alguns eletrodomésticos como a geladeira são influenciados conforme as variações de temperatura. Assim sendo, o procedimento de análise considerando um ano inteiro aproximará com maior exatidão o consumo padrão. Com isso também é possível avaliar a questão da degradação de eficiência energética do eletrodoméstico. Isto é, se o equipamento passa a consumir mais ao longo da vida útil.

Por fim, assim como os programas de eficiência energética, os benefícios gerados — em relação a redução de consumo — só podem ser definidos se for realizada uma análise comparativa entre um período anterior a utilização do medidor cognitivo de energia e um período posterior a aplicação.



## Referências

ACEEE. *State regulators can play a critical role in unleashing building energy data*. 2017. Disponível em: <<http://aceee.org/blog/2017/04/state-regulators-can-play-critical>>. Citado na página 63.

AKAGI, H.; NABAE, A. The p-q theory in three-phase systems under non-sinusoidal conditions. *ETEP European Transaction on Electrical Power Engineering*, v. 3, n. 1, p. 27–31, 1993. Citado na página 69.

ALMEIDA, L. R. de. *Modelagem para análise de desempenho de fornos micro-ondas no contexto da qualidade de energia elétrica*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 144.

ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 395, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2009*. 2009. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>>. Citado na página 53.

ANEEL. *Nota Técnica nº 0098/2012-SRD/ANEEL*. 2012. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/resultado/nota\\_tecnica\\_0098\\_srd-aneel.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/resultado/nota_tecnica_0098_srd-aneel.pdf)>. Citado na página 155.

ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502, DE 7 DE AGOSTO DE 2012*. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2012502.pdf/fc281535-189c-46d6-b7aa-ba7733985ccc?version=1.0>>. Citado na página 155.

BARAI, G. R.; KRISHNAN, S.; VENKATESH, B. Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review. *Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, p. 138–145, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 31, 39, 40 e 41.

BARKER, S. et al. *Empirical Characterization, Modeling, and Analysis of Smart Meter Data*, v. 32, n. 7, 2014. Citado na página 34.

BASU, K. et al. Nonintrusive load monitoring: A temporal multilabel classification approach. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, v. 11, n. 1, 2015. Citado na página 68.

BOGILA, A. *Teorias de Potência Conservativa e Instantânea: Análise Comparativa*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — FEB/UNESP, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 75 e 76.

CARDOSO, R. B. *Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo PROCEL em Freezers e Refrigeradores*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2008. Citado na página 83.

CARRIARMEL, K. et al. Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? the case of electricity. *Energy Policy*, n. 52, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 41, 62 e 63.

- CEMIG. *Guia do melhor consumo: Dicas de economia de energia e segurança com a rede elétrica*. 2014. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/sustentabilidade/nossos\\_programas/Eficiencia\\_Energetica/Documents/GUIA%20MELHOR%20CONSUMO\\_CARTILHA.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/GUIA%20MELHOR%20CONSUMO_CARTILHA.pdf)>. Citado na página 60.
- CGEE. *Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional*. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 33, 40 e 43.
- CHANG, H.-H. et al. A new measurement method for power signatures of nonintrusive demand monitoring and load identification. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2012. Citado na página 68.
- CHOI, T.-S. et al. Analysis of energy savings using smart metering system and ihd (in-home display). *IEEE T&D Asia*, 2009. Citado na página 44.
- CLASP. *Air Conditioner*. Disponível em: <<http://clasp.ngo/Why-Standards-and-Labels/ac>>. Citado na página 56.
- CLASP. *Brazil*. Disponível em: <<http://clasp.ngo/OLD%20ITEMS/PastProgramLocations/Brazil>>. Citado na página 56.
- CLASP. *Brazil - Cooking & Dishwashing, Microwave - Residential*. Citado na página 60.
- CLASP. *Brazil - Heating & Air Conditioning, Room AC - Residential*. Disponível em: <[http://clasp.ngo/Tools/Tools/SL\\_Search/SL\\_SearchResults/SL%20Detail%20Page?m=8fa3c303-a367-443f-b1d8-6e3ec5af6a7d](http://clasp.ngo/Tools/Tools/SL_Search/SL_SearchResults/SL%20Detail%20Page?m=8fa3c303-a367-443f-b1d8-6e3ec5af6a7d)>. Citado na página 56.
- CLASP. *Brazil - Heating & Air Conditioning, Room AC - Residential*. Disponível em: <[http://clasp.ngo/Tools/Tools/SL\\_Search/SL\\_SearchResults/SL%20Detail%20Page?m=96940e6f-6078-4d8c-9521-71aab38c3b35](http://clasp.ngo/Tools/Tools/SL_Search/SL_SearchResults/SL%20Detail%20Page?m=96940e6f-6078-4d8c-9521-71aab38c3b35)>. Citado na página 57.
- CLASP. *Brazil - Refrigeration, Refrigerator - Residential*. Citado na página 58.
- CLASP. *Forecast on Cooling*. Disponível em: <<http://clasp.ngo/en/Resources/Resources/Headlines/2016/Forecast-on-Cooling>>. Citado na página 56.
- COVER, T.; HART, P. Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 3, p. 21–27, 1967. Citado 2 vezes nas páginas 95 e 96.
- CPFL. *CPFL Energia traz 10 dicas para utilizar o ar-condicionado de maneira econômica, segura e inteligente*. 2016. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/ar-condicionado-dez-16.aspx>>. Citado na página 56.
- CZARNECKI, L. Currents' physical components (cpc) concept: a fundamental of power theory. *Proc. of the International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation*, 2008. Citado na página 69.
- DEPENBROCK, M. Quantities of a multiterminal circuit determined on the basis of kirchhoff's laws. *ETEP European Transaction on Electrical Power Engineering*, v. 8, n. 4, p. 249–257, 1998. Citado na página 69.
- DONG, M. et al. An eventwindow based load monitoring technique for smart meters. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, v. 3, n. 2, p. 787–796, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 65 e 68.

DUARTE, L. F. C. *SISTEMA NÃO INVASIVO DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA BASEADO EM CONJUNTOS NEBULOSOS*. Tese (Doutorado) — FEEC/UNICAMP, 2015. Citado na página 68.

EHRHARDT-MARTINEZ, K.; DONNELLY, K. A.; LAITNER, J. A. *Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities*. 2010. Citado 3 vezes nas páginas 61, 62 e 63.

ELETROBRAS. *DICAS DE ECONOMIA DE ENERGIA POR SETOR DE CONSUMO*. 2016. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7B78C3767C-76C3-4A2C-BBBE-AE52D88C0EDE%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>>. Citado na página 55.

EPRI. *Accuracy of Digital Electricity Meters*. [S.l.], 2010. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 37.

FORTES, M. Z. et al. Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética. *ENGEVISTA*, v. 19, n. 2, p. 316–327, 2017. Citado na página 155.

FOUDEH, H. A.; MOKHTAR, A. S. Automated meter reading and advanced metering infrastructure projects. *9th Jordanian International Electrical and Electronics Engineering Conference (JIEEEEC)*, p. 1–6, 2015. Citado na página 38.

FRYZE, S. Active, reactive, and apparent power in non-sinusoidal systems. *Przeгляд Elektrot.*, n. 7, p. 193–203, 1932. Citado na página 69.

FUGITA, S. D. *Smart Meter Integrado a Analisador de Qualidade de Energia para Propósito de Identificação de Cargas Residenciais*. Tese (Doutorado) — EESC/USP, 2014. Citado na página 68.

GUO, Z.; WANG, Z. J.; KASHANI, A. Home appliance load modeling from aggregated smart meter data. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, v. 30, n. 1, 2015. Citado na página 69.

HART, G. W. Nonintrusive appliance load monitoring. *Proceedings of the IEEE*, v. 80, n. 12, p. 1870–1891, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 130.

IDEC. *Quanto você gasta com energia elétrica?* 2013. Disponível em: <[http://www.idec.org.br/uploads/revistas\\_materias/pdfs/173-cap1.pdf](http://www.idec.org.br/uploads/revistas_materias/pdfs/173-cap1.pdf)>. Citado na página 55.

IEA. *Technology Roadmap: Energy efficient building envelopes*. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

IEA. *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. 2014. Citado na página 47.

IEA. *Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics*. 2014. Citado na página 47.

IEA. *Energy Efficiency Market Report*. 2016. Citado na página 47.

- INMETRO. *Tabelas de consumo/eficiência energética: Condicionadores de ar*. 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>. Citado na página 56.
- ISA, M. A. H. M. et al. Android-based application for real time energy monitoring of domestic electricity. *IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2015)*, 2015. Citado na página 44.
- KOUTITAS, G. C.; TASSIULAS, L. Low cost disaggregation of smart meter sensor data. *IEEE SENSORS JOURNAL*, v. 16, n. 6, p. 71–97, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 65, 66 e 68.
- LANDI, C.; MEROLA, P.; IANNIELLO, G. Arm-based energy management system using smart meter and web server. *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2011. Citado na página 44.
- LEITE, D. R. V. *MEDIDORES ELETRÔNICOS: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NO CONTEXTO DAS REDES INTELIGENTES*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2013. Citado na página 155.
- LEIVA, J.; PALACIOS, A.; AGUADO, J. A. Smart metering trends, implications and necessities: A policy review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 55, p. 227–233, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 34, 43 e 44.
- MAKONIN, S. et al. A consumer bill of rights for energy conservation. *IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference - (IHTC)*, 2014. Citado na página 44.
- MAKONIN, S. et al. Exploiting hmm sparsity to perform online real-time nonintrusive load monitoring. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, 2015. Citado na página 69.
- MAKONIN, S.; POPOWICH, F.; GILL, B. The cognitive power meter: Looking beyond the smart meter. *26th Annual IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, p. 1–5, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 32, 33, 34, 43 e 44.
- MAKONIN, S. et al. Inspiring energy conservation through open source power monitoring and in-home display. *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES)*, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 32, 33, 34 e 44.
- MDIC. *Portaria Inmetro nº 20 de 1 de Fevereiro de 2006*. 2006. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001000.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 81.
- MDIC. *Portaria n.º 174, de 10 de abril de 2012*. 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001810.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 82.
- MDIC. *Portaria Inmetro nº 410 de 16 de Outubro de 2013*. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 57.
- MME. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 48, 50 e 54.

NAGHIBI, B.; DEILAM, S. Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management. *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 44, 65, 66, 67 e 68.

NIST. *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*. 2014. Disponível em: <<https://www.nist.gov/news-events/news/2014/10/nist-releases-final-version-smart-grid-framework-update-30>>. Citado na página 40.

OPRIS, I.; CARACASIAN, L. On the implementation of the functionalities of smart metering systems. *8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, p. 1–6, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 32, 33, 38, 40 e 43.

OPRIS, I.; CARACASIAN, L. The relation between smart meters and electricity consumers. *12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, v. 1, n. 1, p. 325–329, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 31, 33, 40 e 43.

PAREDES, H. K. M. *Teoria de Potência Conservativa: Uma nova Abordagem para o Controle Cooperativo de Condicionadores de Energia e Considerações sobre Atribuição de Responsabilidades*. Tese (Doutorado) — FEEC/UNICAMP, 2011. Citado 5 vezes nas páginas 34, 70, 73, 74 e 75.

PAULO, E. de S. *Balanço Energético do Estado de São Paulo*. 2016. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 56.

PAULO, E. de S. *Plano Paulista de Energia 2020*. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 50, 54 e 56.

PEREIRA, C. D.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. *Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil*. 2013. Citado na página 56.

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E. *Estado da arte em eficiência energética: sistemas de condicionamento de ar*. 2015. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 82.

PROCEL. *Dicas da Eletrobras Procel para economizar energia elétrica em residências e condomínios*. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7B367B9C63-5C2B-4686-9A4E-7108C08CF79F%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>>. Citado 2 vezes nas páginas 57 e 59.

PROCEL. *PROCEL Info*. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/main.asp>>. Citado na página 52.

PROCEL. *Resultados PROCEL ANO BASE 2015-2016*. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 51, 52 e 53.

RIDI, A.; GISLER, C.; HENNEBERT, J. A survey on intrusive load monitoring for appliance recognition. *22nd International Conference on Pattern Recognition*, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 44, 65, 66 e 68.

RIGODANZO, J. *INSTALAÇÃO DE MEDIDORES INTELIGENTES NO BRASIL: UMA ANÁLISE ECONÔMICA*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2015. Citado na página 155.

- RODRIGUES, R. de P. *RECONHECIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS MONOFÁSICAS NÃO-LINEARES ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO WAVELET E DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2009. Citado na página 68.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence*. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 95 e 96.
- SAIKIA, L. C. et al. Gprs enabled smart energy meter with in-home display and application of time of use pricing. *IEEE Annual India Conference (INDICON)*, 2016. Citado na página 44.
- SALVADOR, E. *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM REFRIGERADORES*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2013. Citado na página 81.
- SHARMA, K.; SAINI, L. M. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 49, p. 720–735, 2015. Citado 5 vezes nas páginas 37, 39, 40, 41 e 43.
- SOUZA, E. P. de. *ECONOMIA DE ENERGIA EM AR CONDICIONADO NO BRASIL: EFICIÊNCIA E ECONOMICIDADE*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 83.
- SOUZA, W. A. *ESTUDOS DE TÉCNICAS DE ANÁLISE E TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGIA RESIDENCIAIS*. Tese (Doutorado) — FEEC/UNICAMP, 2016. Citado 9 vezes nas páginas 34, 69, 78, 87, 89, 96, 97, 155 e 157.
- STAR, E. *Energy Star*. 2017. Disponível em: <<https://www.energystar.gov/>>. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.
- TANG, G.; WU, K.; LEI, J. Semi-intrusive load monitoring for large-scale appliances. 2014. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Semi-Intrusive-Load-Monitoring-for-Large-Scale-App-Tang-Wu/f5794f8098a3f00240c0b209e67c582da5f83b20>>. Citado na página 68.
- TANG, G.; WU, K.; LEI, J. Semi-intrusive load monitoring for large-scale appliances. *IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS*, v. 26, 2016. Citado na página 68.
- TENTI, P.; MATTAVELLI, P. A time-domain approach to power term definitions under non-sinusoidal conditions. *Sixth International Workshop on Power Definitions and Measurements under Non-Sinusoidal Conditions*, n. 35, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 69.
- TESHOME, D. F.; HUANG, T. D.; LIAN, K.-L. Distinctive load feature extraction based on fryze's time-domain power theory. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 68 e 69.
- VARGA, S.; ROTTA, T. C. *Afinal, o que é computação cognitiva?* 2018. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbbr/entry/mp270?lang=en>>. Citado na página 32.

VIANA, A. N. C. et al. *EFICIÊNCIA ENERGÉTICA : FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 49.

WEC. *World Energy Perspective. Energy Efficiency Policies — What works and what does not*. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 47, 48 e 49.

WEC. *World Energy Perspective. Energy Efficiency Policies — 2016*. 2016. Citado 7 vezes nas páginas 47, 48, 49, 54, 55, 56 e 58.

WERANGA, K. S. K.; CHANDIMA, D. P.; KUMARAWADU, S. P. Smart metering for next generation energy efficiency & conservation. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, n. 1, p. 1–8, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 31, 32, 33 e 34.

WOOD, G.; NEWBOROUGH, M. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design. *Energy and Buildings*, n. 35, 2002. Citado na página 61.

XU, Y.; MILANOVIĆ, J. V. Artificial-intelligence-based methodology for load disaggregation at bulk supply point. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, v. 30, n. 2, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 32, 34 e 68.

ZHENG, J.; GAO, D. W.; LIN, L. Smart meters in smart grid: An overview. *IEEE Green Technologies Conference*, p. 57–64, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 31, 40, 42 e 43.

ZHOU, L.; XU, F.-Y.; MA, Y.-N. Impact of smart metering on energy efficiency. *Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2010. Citado na página 33.

ZIVIC, N. S.; UR-REHMAN, O.; RULAND, C. Evolution of smart metering systems. *Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, p. 635–638, 2015. Citado na página 38.



# Apêndices



## APÊNDICE A – Protótipo do medidor.





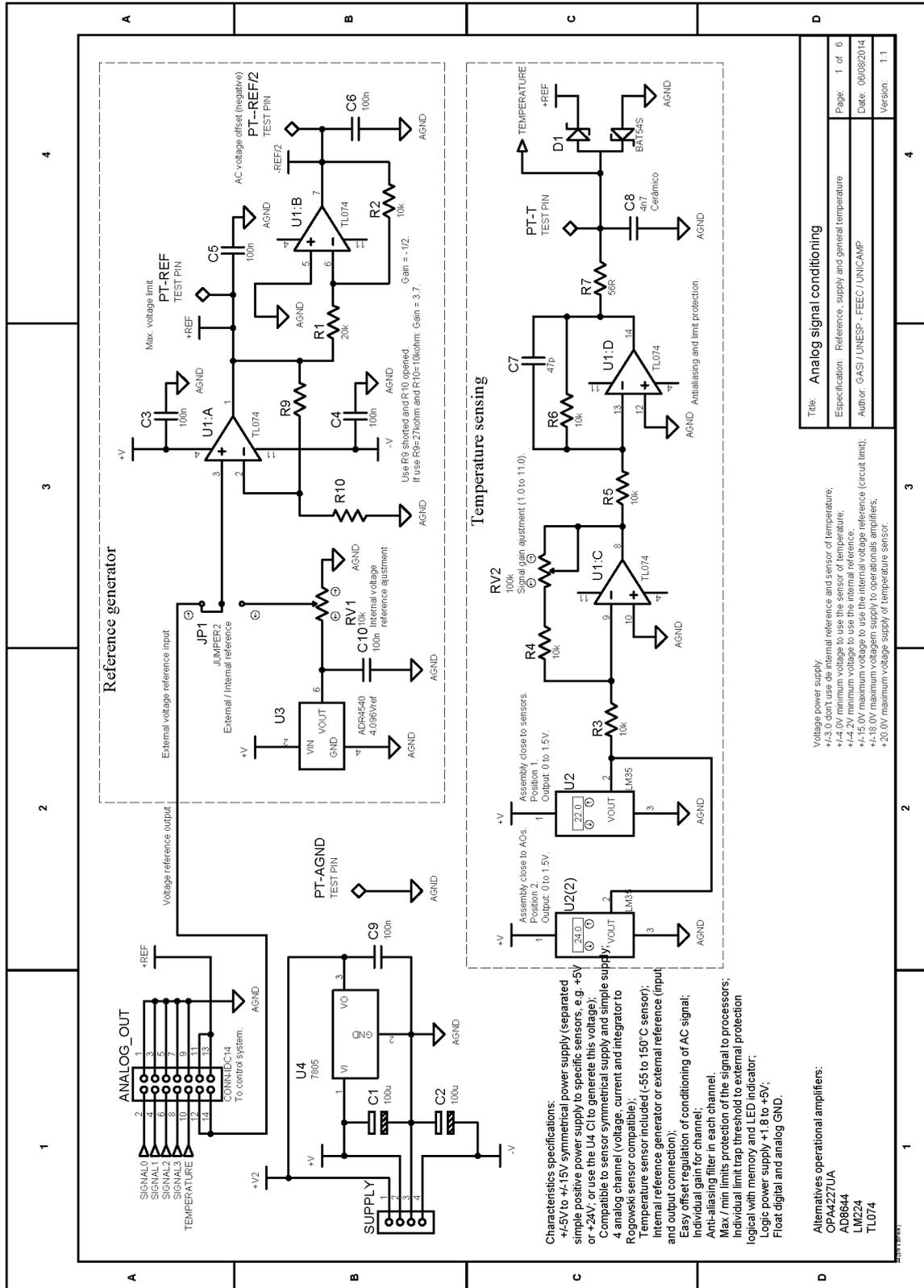
**Suporte para placa de processamento**

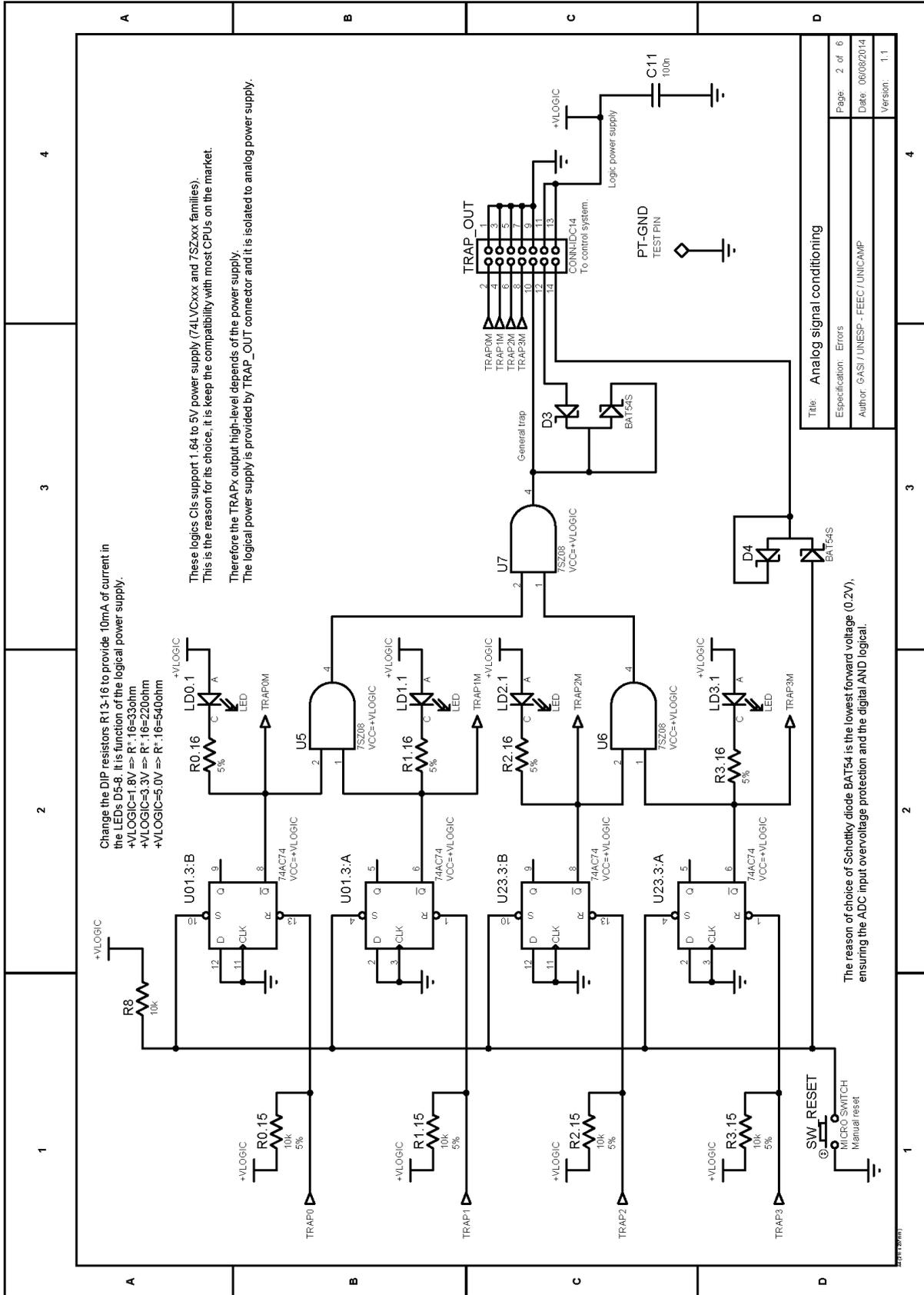
**Placas de condicionamento**

# Anexos



# ANEXO A – Circuitos de condicionamento.





Title:	Analog signal conditioning
Especificación:	Errors
Author:	GASI / UNESP - FECC / UNICAMP
Date:	06/08/2014
Version:	1.1

apartado



