

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

TESE DE DOUTORADO

**SMARTCOM: UMA ARQUITETURA INTELIGENTE DE
GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA PARA *SMART HOME***

EDVAR DA LUZ OLIVEIRA

TD: 08/2017

**UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

TESE DE DOUTORADO

**SMARTCOM: UMA ARQUITETURA INTELIGENTE DE
GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA PARA *SMART HOME***

EDVAR DA LUZ OLIVEIRA

TD: 08/2017

**UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

EDVAR DA LUZ OLIVEIRA

**SMARTCOM: UMA ARQUITETURA INTELIGENTE DE
GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA PARA *SMART HOME***

Tese de doutorado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Elétrica na área de computação aplicada.

**UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SMARTCOM: UMA ARQUITETURA INTELIGENTE DE GERENCIAMENTO DE CONSUMO DE
ENERGIA PARA *SMART HOME***

EDVAR DA LUZ OLIVEIRA

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA ELÉTRICA, E APROVADA NA SUA FORMA FINAL, PELA BANCA EXAMINADORA, DESIGNADA PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ EM 25 DE AGOSTO DE 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês (ORIENTADOR – PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar (MEMBRO EXTERNO – INPE/LAC)

Prof. Dr^a. Fernanda Carla Lima Ferreira (MEMBRO EXTERNO – UNIFESSPA)

Prof. Dr. Cláudio Alex Jorge da Rocha (MEMBRO EXTERNO – IFPA)

Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva (MEMBRO FCT/UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes (COORDENADOR PPGEE/UFPA)

**BELÉM/PA
2017**

Eu tenho sido um homem de sorte
na vida, nada veio fácil para mim.
(Sigmund Freud)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em todos os momentos de minha vida, e por ter me concedido esta oportunidade de realizar um sonho tão grandioso.

À minha fonte de inspiração, minha amada mãe. É impossível escrever neste espaço o quanto sou grato pela excelente vida que me deste, seu empenho, dedicação e amor por mim, me fez vencer diversos desafios e tudo que conquistei na vida é fruto de seus ensinamentos. Eu te amo muito.

Aos meus pais, Barral, Tadeu, Lúcio, e ao meu irmão Érito que sempre acreditaram em mim, incentivando-me a nunca desistir dos meus sonhos e presentes em todos momentos da minha vida, a vocês um muito obrigado.

À minha amada esposa Thays, o melhor presente que Deus colocou em meu caminho - acima de tudo é uma grande amiga, companheira, confiante e paciente - o anjo a quem eu sei que sempre posso confiar.

À minha princesa Esther, que deu significado a tudo em minha vida, inclusive sendo a inspiração de tanto empenho para conclusão doutorado. Sem você não sou nada, te amo.

Ao meu filho canino Apolo, que me fez perceber que Deus criou tão belas criaturas, fiéis, carinhosas e protetoras.

À minha família, que sempre me ajudou, incentivou e cuidou de cada fase de meu crescimento, como filho, sobrinho, genro e pai, além de tudo um ser humano melhor.

Ao meu orientador e amigo, prof. Renato Francês, por todos os preciosos ensinamentos, por sempre acreditar que eu sou capaz, pela amizade e, principalmente, por nunca desistir de mim, minha dívida é eterna.

Aos amigos e irmãos Ádamo, Diego, Jams, Marcelino e Renato, agradeço a cada momento que passei com vocês e, principalmente, por tê-los conhecidos. Estejamos unidos para sempre, minha gratidão e meu amor por vocês.

Aos meus amigos do LPRAD (Evelyn, Eulália, Penha, Amado, Tássio, Jailton, Patrick, Sérgio, Suzane, Hans, Carlos Natalino, Paulo, Priscila e Laura) e LEA (Liane, Marcos e Lamartine), que sempre me ajudaram no trabalho, muito obrigado.

Aos professores (e amigos) João Weyl, Nandamudi Vijaykumar e Solon Carvalho que sempre se dispuseram e estiveram presentes para me ajudar nos trabalhos.

Aos meus alunos Alfaia, Anderson, Lucky, Victor e a todos os outros do Laboratório de Tecnologias para comunicação de Dados (LTCD) da UFRA, que fazem parte deste crescimento acadêmico, um muito obrigado.

À UFPA e ao PPGEE, por ter me acolhido como aluno de doutorado durante esses anos.

Ao CNPq e à CAPES pelo fomento da pesquisa realizada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Motivação e Caracterização do Problema.....	1
1.2 – Objetivos	3
1.3 – Organização do Trabalho	5
CAPÍTULO 2 – <i>SMART GRID</i>	7
2.1 – Considerações Iniciais.....	7
2.2 – Definições e Características dos <i>Smart Grids</i>	8
2.3 – Objetivos dos <i>Smart Grids</i>.....	11
2.4 – Desafios da INTEGRAÇÃO DAS Redes de Transmissão de Dados.....	12
2.5 – Modelos de Referência para Implementação das Redes de Transmissão de Dados dos <i>Smart Grid</i>	13
2.6 – Modelos de interoperabilidade.....	17
2.6.1 - Interoperabilidade para <i>Smart Grid</i>	18
2.6.2 – Interoperabilidade para <i>Smart Home</i>	21
2.7 – Considerações Finais	24
CAPÍTULO 3 – LÓGICA FUZZY APLICADA À SMARTCOM.....	26
3.1 – Considerações Iniciais.....	26
3.2 – INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL	26
3.3 – LÓGICA FUZZY	28
3.3.1 - Função de pertinência e regras Fuzzy.....	29
3.3.2 - Regras Fuzzy	31
3.3.3 - Estrutura do controlador Fuzzy	32
3.4 – Considerações Finais	33
CAPÍTULO 4 – TRABALHOS CORRELATOS.....	34
4.1 – Considerações Iniciais.....	34
4.2 – Panorama brasileiro de <i>Smart Grid</i>	34
4.3 – <i>Estado da arte</i>	40
4.3 – Considerações Finais	53
CAPÍTULO 5 – SmartCoM: UMA ARQUITETURA DE GERENCIAMENTO DE CONSUMO INTELIGENTE PARA <i>SMART HOME</i>	54
5.1 – Considerações Iniciais.....	54
5.2 – Definição do Escopo da Tese	54
5.3 – <i>Design</i> da arquitetura SmartCom	55
5.3.1 – nuvem e aplicações locais.....	61
5.3.2 – unidade central e nós de medição.....	61
5.4 – Smartcom: Modelagem e Implementação do protótipo.....	65
5.4.1 – Design do Hardware	65
5.4.2 - Design do software.....	67
5.5 – Considerações Finais	73

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO	75
6.1 – Considerações iniciais	75
6.2 – Medição do consumo de energia e acionamento via solução Web e DISPOSITIVO Móvel	75
6.3 – Ampliação da arquitetura para medição e gerenciamento do consumo de energia em iluminação residencial	78
6.4 – USO DE Lógica Fuzzy para redução do consumo de energia	87
6.4.1 – Variáveis de entrada	88
6.4.2 - Bases de regras e inferência	90
6.4.3 - Sistema Fuzzy: Saída.....	91
6.5 – Considerações Finais	99
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....	101
7.1 – Contribuições da tese	102
7.2 – Trabalhos futuros	104
7.3 – Dificuldades Encontradas	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – MODELO CONCEITUAL DA ARQUITURA PROPOSTA PARA <i>SMART HOME</i> SOB UMA NUVEM DE SERVIÇOS DA CONCESSIONÁRIA.....	3
FIGURA 2.1 –INTERAÇÃO ENTRE OS ATORES DE DIFERENTES DOMÍNIOS.	15
FIGURA 2.2 – DIAGRAMA CONCEITUAL DE REFERÊNCIA PARA A REDE DE TRANSMISSÃO DE DADOS DO <i>SMART GRID</i>	16
FIGURA 3.1 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRAPEZOIDAL.	30
FIGURA 3.2 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA TRIANGULAR.....	31
FIGURA 3.3 - ESTRUTURA BÁSICA DE UM SISTEMA DE CONTROLE FUZZY.....	32
FIGURA 3.4 - DEFUZZIFICAÇÃO TIPO CENTRO DE ÁREA.....	33
FIGURA 4.1 – HISTOGRAMA DAS QUANTIDADES DE PROPOSTAS EM <i>SMART GRID</i> ATÉ 2017.....	40
FIGURA 5.1 – CENÁRIO GERAL DA ARQUITETURA SMARTCOM.	59
FIGURA 5.2 – DIAGRAMA DA ARQUITETURA SMART COM.....	60
FIGURA 5.3 – DIAGRAMA ESTRUTURAL DO NÓ DE MEDIÇÃO	66
FIGURA 5.4 – DIAGRAMA ESTRUTURAL DO NÓ DE MEDIÇÃO PARA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL.	66
FIGURA 5.5 – PROTÓTIPO DO NÓ DE MEDIÇÃO	67
FIGURA 5.6 – DIAGRAMA DOS COMPONENTES DA CAMADA DE SERVIÇO (<i>MIDDLEWARE</i>).....	68
FIGURA 5.7 – DIAGRAMA DE CASO DE USO MACRO DO <i>MIDDLEWARE</i>	70
FIGURA 5.8 - DIAGRAMA DE CASO DE USO DAS FUNCIONALIDADES DO WS.	71
FIGURA 5.9 - DIAGRAMA CLASSE DO WEB SERVICE.....	71
FIGURA 5.10 – DIAGRAMA ENTIDADE RELACIONAMENTO.	72
FIGURA 5.11 - DIAGRAMA DE CLASSE DO APLICATIVO MÓVEL.	73
FIGURA 6.1 – SISTEMA WEB DE MONITORAMENTO.	76
FIGURA 6.2 – APLICAÇÃO MÓVEL (A) TELA DE GERENCIAMENTO DE ELETRODOMÉSTICOS (B) TELA DE VISUALIZAÇÃO DA TENSÃO (C) ALERTA FUZZY.	77
FIGURA 6.3 – GRÁFICO DE VISUALIZAÇÃO DO CONSUMO (kWh).....	77
FIGURA 6.4 – VISUALIZAÇÃO DA CORRENTE	78
FIGURA 6.5 – VISUALIZAÇÃO DA TENSÃO.	78
FIGURA 6.6 – DIAGRAMA CONCEITUAL DO MODELO DE GERENCIAMENTO DE ILUMINAÇÃO.	80
FIGURA 6.7 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 1).....	81
FIGURA 6.8 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 2).....	82
FIGURA 6.9 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 3).....	82
FIGURA 6.10 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 4).....	83
FIGURA 6.11 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 5).....	83
FIGURA 6.12 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 6).....	84
FIGURA 6.13 - MONITORAMENTO DE ILUMINAÇÃO (DIA 7).....	84
FIGURA 6.14 - INTERFACE DA APLICAÇÃO PARA CONTROLE MANUAL DA ILUMINAÇÃO.....	85
FIGURA 6.15 - <i>OVERVIEW</i> DO SISTEMA FUZZY.....	88
FIGURA 6.16 - ENTRADA “ÍNDICE DE CONSUMO” NO SISTEMA FUZZY.....	89
FIGURA 6.17 - ENTRADA “% MÊS” NO SISTEMA FUZZY.....	90
FIGURA 6.18 - REGRAS DO SISTEMA FUZZY.	91
FIGURA 6.19 - SAÍDA “CONSUMO EXCEDIDO” NO SISTEMA FUZZY.....	92
FIGURA 6.20 - ENTRADA “% DO MÊS” NO SISTEMA FUZZY.	93
FIGURA 6.21 - ENTRADA “ÍNDICE DE CONSUMO” NO SISTEMA FUZZY.	93
FIGURA 6.22 - SAÍDA NO SISTEMA FUZZY.	94
FIGURA 6.23 - MÉDIA DOS DADOS OBTIDOS NO QUESTIONAMENTO COM EQUIPAMENTOS NÃO REORDENADOS.	96

FIGURA 6.24 - EQUIPAMENTOS REORDENADOS BASEADOS NA FÓRMULA IC.....	96
FIGURA 6.25 - RESULTADO APÓS A UTILIZAÇÃO DO PERFIL 01.....	97
FIGURA 6.26 - RESULTADO APÓS A UTILIZAÇÃO DO PERFIL 02.....	98
FIGURA 6.27 - RESULTADO APÓS A UTILIZAÇÃO DO PERFIL 03.....	99
FIGURA 6.28 – APLICAÇÃO MÓVEL PARA VISUALIZAÇÃO DOS CONSUMOS BASEADOS NOS PERFIS.	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 – SÍNTESE DOS TRABALHOS PESQUISADOS	48
TABELA 4.2 – COMPARATIVO DAS PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DA ARQUITETURA SMARTCOM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS REFERENCIADOS PARA <i>SMART HOME</i>	52
TABELA 5.1 – FUNCIONALIDADES DO WEB SERVICE REST	68
TABELA 6.1 - VALOS DA VARIÁVEL DIMMING DE ACORDO COM A POTÊNCIA ESCOLHIDA.	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BR	Base de Regras
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
HEMS	<i>Home Energy Management Systems</i>
IA	Inteligência Artificial
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MME	Ministério de Minas e Energia
MOM	<i>Message-oriented Middleware</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
REI	Redes Elétricas Inteligentes
SGED	Sistemas de Gerenciamento de Energia Domiciliar
TCP	<i>Transfer Control Protocol</i>
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFRA	Universidade Federal Rural da Amazônia
WS	<i>Web Services</i>

RESUMO

Com os avanços na tecnologia da informação para diversas áreas, como saúde e bem-estar, as soluções baseadas em *Smart Home* que usam as tecnologias *Internet of Things* (IoT) vem ganhando maior repercussão, inclusive como alternativas de economia de energia com base em Sistemas de Gerenciamento de Energia Domiciliar (SGED). Esta tese define uma arquitetura inovadora, denominada de SmartCoM, que é implementada para monitorar e gerenciar habitações residenciais usando tecnologias IoT. Tal estratégia envolve a definição dos parâmetros que podem efetivar a interoperabilidade entre medição, gerenciamento e as camadas de comunicação de dados, que são os recursos necessários para que os dispositivos de *hardware* possam realizar o monitoramento e medição pretendidos. Além disso, uma interface é definida por uma camada de *middleware* para integrar o gerenciamento de instalações externas e a visualização de dados por meio de um serviço em nuvem.

A arquitetura SmartCoM é definida de maneira fim-a-fim, em detalhes do ponto de vista do consumidor e as estratégias de otimização são empregadas tanto para o cliente final quanto para a concessionária de energia. A fim de avaliar a arquitetura proposta, foi elaborado um estudo de caso, a partir do qual, observa-se a viabilidade do desenvolvimento de soluções para *Smart Home* de acordo com os requisitos descritos na SmartCoM.

PALAVRAS-CHAVE: *Smart Grid; Middleware; Interoperabilidade; Smart Home; Internet of Things.*

ABSTRACT

With advances in information technology for a variety of areas, such as health and wellness, Smart Home based solutions using Internet of Things (IoT) technologies are gaining in popularity, including energy-saving alternatives based on Home Energy Management Systems (HEMS). This thesis defines an innovative architecture, called SmartCoM, which is implemented to monitor and manage residences using IoT technologies. Such a strategy involves defining the parameters that can affect the interoperability between measurement, management and the layers of data communication, which are the resources necessary for the hardware devices to perform the intended monitoring and measurement. In addition, an interface is defined by a middleware layer to integrate the management of external installations and the visualization of data through cloud services.

The SmartCoM architecture is defined end-to-end in detail from the consumer's point of view and optimization strategies are employed for both the end customer and the utility. In order to evaluate the proposed architecture, a case study was elaborated, from which the viability of developing solutions for Smart Home according to the requirements described in SmartCoM is observed.

Keywords: *Smart Grid; Middleware; Interoperability, Smart Home; Internet of Things.*

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – MOTIVAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Nos últimos anos, o panorama dos sistemas de energia sofreu alterações após a introdução de novos modelos comerciais, por exemplo, distribuição de energia elétrica. Esses novos modelos permitem que os consumidores participem ativamente com base nas experiências do *Smart Grid*, que por sua vez são definidos como elementos de borda desta rede. Essa participação torna o cenário mais complexo no que se refere aos serviços, uma vez que eleva desafios - por exemplo, quando integrando recursos de *software* e *hardware*. Isso ocorre porque os sistemas de energia e as empresas de energia operam em ambientes heterogêneos, o que é um fator estratégico essencial para garantir um certo grau de segurança (uma característica inerente ao setor elétrico). Além disso, também há necessidade de incluir serviços que possam superar as redes elétricas tradicionais.

Por conseguinte, é aconselhável conceber uma estratégia que possa ser interoperável entre todos os aspectos do setor elétrico (com todas as suas diversas nuances). Além disso, o novo modelo deve cumprir os padrões da Agência Reguladora de Energia Elétrica em relação à supervisão, manutenção e controle, além de atender aos seguintes requisitos: confiabilidade, escalabilidade, gerenciamento, geração de fontes de energia renováveis e limpas, interoperabilidade e custo-efetividade. Todos esses recursos são especificados no domínio do *Smart Grid* [Komninos et al., 2014].

Em geral, o *Smart Grid* pode ser considerado como uma rede que pode gerenciar dispositivos elétricos em vários domínios e proporcionar eficiência, confiabilidade, segurança e qualidade de serviços [NIST, 2014].

Recentemente, arquiteturas de *Smart Grid*, aliadas à utilização de soluções de TIC, vem sendo pesquisadas para realizar o gerenciamento de interfaces de controle de dispositivos elétricos em diversos domínios (centros de distribuição, redes domésticas, entre outros). A eficiência desse controle dependerá do nível de interoperabilidade especificado, por exemplo, para cada interface com a

finalidade de estabelecer um mecanismo comum de compartilhamento de informações. Especificações são definidas por diversas normas de interoperabilidade para *Smart Grid*, criando um cenário desfavorável para o desenvolvimento de soluções de *middleware* para alcançar a integração desejada.

É importante observar que os *Smart Grids* são sistemas complexos compostos por diversos outros subsistemas complexos [NIST, 2014], envolvendo integração e interoperabilidade de diversas tecnologias de transmissão de dados. Além disso, existem outras preocupações dentro dos subdomínios do *Smart Grid*, principalmente voltadas para características de redução do consumo de energia pelo lado da demanda, específicas dos *Smart Home* [Hoosain & Paul, 2017].

Neste caso em particular, para o domínio de *Smart Home*, considerado como elemento de borda dos *Smart Grids*, diversas soluções ou modelos de interoperabilidade são descritos para que haja uma forma de integração entre os elementos de monitoramento das concessionárias e as residências.

Contudo, esta integração apresenta uma série de limitações que vão desde infraestrutura de comunicações a dificuldades de elementos de medição e de atuação.

Com base no cenário estabelecido para o desenvolvimento de aplicativos para o *Smart Home*, foi concebida uma nova estratégia que combina soluções de tecnologia da informação, comunicações avançadas e sistemas de sensores para criar uma ampla gama de novas aplicações *Smart Home* aliadas à Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* - IoT) [Stojkoska & Trivodaliev, 2017]. Essas soluções devem ser capazes de permitir controle remoto, acesso e monitoramento (da Internet) aumentando assim a escalabilidade da solução.

À luz do exposto, esta tese apresenta uma arquitetura inovadora para sistemas de gerenciamento de energia residencial (do inglês, *Home Energy Management Systems* - HEMS), nomeada de *Smart Consumption Management Architecture* (SmartCoM), a qual toma como base as diretrizes estabelecidas no *IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications*,

and Loads [IEEE2030, 2011], para a interoperabilidade e aplicabilidade dos *Smart Grids*, no contexto do *Smart Home* para tecnologias IoT.

A arquitetura se caracteriza por ser flexível e incluir recursos tecnológicos chave, tais como: segurança de dados, modularidade, interoperabilidade, capacidade de gerenciamento remoto, o uso possível de heurísticas de inteligência computacional, flexibilidade e reutilização. Além disso, a arquitetura procura integrar fatores para além do domínio *Smart Home* (os característicos de sistemas *Smart Grid*, por exemplo). SmartCoM também oferece uma camada de interoperabilidade que inclui um serviço de comunicação (para compartilhamento de dados) com a concessionária via Infraestrutura de Medição Avançada (do inglês, *Advanced Metering Infrastructure* – AMI), por meio de serviços em nuvem, criando, assim, um único sistema de interface integrado. A proposta é validada por meio de um protocolo HEMS projetado de acordo com os requisitos de SmartCoM e cria um sistema proativo de controle doméstico utilizando lógica Fuzzy como heurística de apoio à tomada de decisão. A Figura 1.1 ilustra o modelo conceitual de utilização da SmartCoM.

Figura 1.1 – Modelo Conceitual da arquitetura proposta para *Smart Home* sob uma nuvem de serviços da concessionária.



Fonte: Autor.

1.2 – OBJETIVOS

O objetivo principal desta tese é especificar, desenvolver e validar uma arquitetura de *middleware* flexível para plataformas de *Smart Home*, denominada *Smart Consumption Management Architecture (SmartCoM)*,

considerando restrições de interoperabilidade em diversos níveis (protocolos, aplicações e dispositivos). A SmartCoM, além de especificar as funcionalidades mais habituais de monitoramento e gerenciamento do consumo de energia, também prevê a possibilidade de inclusão de heurísticas para tomada de decisão.

De forma mais específica, esta proposta apresenta os seguintes objetivos:

- Projetar e implementar uma arquitetura de *middleware* de propósito geral, baseada em sistemas de software abertos e livres, considerando restrições de interoperabilidade em plataformas *Smart Home*;
- Projetar e implementar aplicações de interoperabilidade para *Smart Home*, visando à realização de testes na SmartCom e nos protótipos de *middleware*;
- Projetar e implementar protótipo de *middleware*, com vistas a validar sua implantação em ambientes de *Smart Home*;
- Agregar diferentes funcionalidades de monitoramento e gerenciamento do consumo de energia que visem a informar aos usuários do sistema o consumo em tempo real, para que partir desses resultados, possa haver otimização de consumo;
- Propor uma arquitetura totalmente modular para inclusão de técnicas de inteligência computacional para diagnosticar, classificar ou prever o consumo de energia residencial;
- Realizar um amplo levantamento do estado da arte das áreas contempladas nesta tese;
- Investigar os diversos modelos de padronização para interoperabilidade de *Smart Home* existentes;
- Identificar e/ou sugerir estratégias para integração de características específicas de cada modelo de interoperabilidade, a partir de implementações de protótipos e/ou simulações;
- Realizar estudos exploratórios, em ambientes reais de concessionárias, aplicando os conceitos apresentados na proposta, a partir de eventual execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento com as empresas do setor elétrico;

A hipótese a ser comprovada nesta tese diz respeito à necessidade de prover elementos de interoperabilidade nos mais diversos níveis em *Smart Home*, devido à grande quantidade de dispositivos de *hardware* e *software*, principalmente no que tange às suas características heterogêneas, para garantir a comunicação bi-direcional, medição, operação, supervisão e atuação. Essa interoperabilidade é possível ser alcançada pelas definições descritas na arquitetura SmartCoM, proposta nesta tese de doutorado.

1.3 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Estruturalmente, esta tese é composta por um capítulo de introdução, dois capítulos de revisão bibliográfica (incluem-se nestes um capítulo de *Smart Grids* e outro de Inteligência Computacional), um capítulo no qual são apresentados os trabalhos correlatos aos assuntos atinentes a esta tese, um capítulo com o detalhamento da arquitetura SmartCoM, seguido por um capítulo de validação da arquitetura detalhada. Ao final, o capítulo de conclusões desta tese. Os próximos parágrafos apresentam uma síntese desses capítulos.

No Capítulo 2, é apresentado um estudo sobre os *Smart Grids*, no qual são descritas as principais definições e características presentes na literatura afeita ao assunto. Além disso, a partir do levantamento dos objetivos dos *Smart Grids* no Brasil, Estados Unidos e Europa, discute-se os diferentes enfoques e desejos que podem variar de região para região do mundo. Adicionalmente, também são abordados os conceitos e definições de interoperabilidade para o domínio de *Smart Home*, foco principal desta tese, que servem de alicerce para a construção e definição da arquitetura SmartCoM.

O Capítulo 3 descreve uma visão geral sobre as técnicas de inteligência computacional e, de forma mais detalhada, a utilização de lógica Fuzzy para auxílio na tomada de decisão do usuário residencial, com efeito na redução do consumo de energia.

O cenário atual de *Smart Grid* no Brasil e os trabalhos recentes e mais relevantes relacionados às soluções de *middleware* para *Smart Grid* e *Smart*

Home e, por conseguinte, correlacionados a esta proposta de tese, são apresentados no capítulo 4.

No Capítulo 5, descrevem-se os detalhes da arquitetura SmartCom, apresentando-se o conceito geral da arquitetura, suas definições e especificações para interoperabilidade em cenários de *Smart Home*.

O estudo de caso elaborado para demonstrar a aplicabilidade de SmartCom é apresentado no Capítulo 6, no qual os cenários de testes são detalhados, as aplicações e a tecnologia de transmissão de dados são analisadas, os modelos são parametrizados e os resultados numéricos são avaliados.

Em seu Capítulo 7, esta tese discorre acerca das conclusões, principais contribuições e possíveis desdobramentos desta pesquisa.

CAPÍTULO 2 – *SMART GRID*

2.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A modernização dos sistemas e da infraestrutura de geração e fornecimento de energia elétrica tem sido um ponto central de discussões e investimentos em diversos países [Xue-song et al., 2010] [Arnold, 2011] [Ruihua et al., 2010] [Jeju, 2010] [Komninos et al., 2014] [Piatkowska et al., 2017] [Wang et al., 2017] e também no Brasil [Filho et al., 2015] [Filho & Filho et al., 2015].

Com tal modernização, objetiva-se aumentar a eficiência energética, dar suporte para a total integração das fontes de energias renováveis e limpas, iniciar a transição para tais fontes, reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, aumentar a confiabilidade e a robustez dos sistemas elétricos, entre outros.

A fim de realizar esse processo de modernização nos sistemas e na infraestrutura de geração e fornecimento de energia elétrica, as empresas do setor elétrico vêm explorando todas as potencialidades das soluções de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

Aliadas a tais soluções de TIC, as empresas vislumbram também a participação dos consumidores no processo de controle e gerenciamento do consumo, por meio de serviços oferecidos pela própria infraestrutura e equipamentos que permitam total gerenciamento e monitoramento inteligente dos utensílios domésticos conectados.

Os resultados deste avanço tecnológico são chamados de *Smart Grid*, que especifica sete domínios de operação (discutidos com mais detalhes neste capítulo), e, em especial, o de *Smart Home*.

Os estudos em *Smart Home* devem ser compreendidos como parte de um domínio voltado ao consumidor final (usuário residencial), no que diz respeito ao consumo de energia, compreendendo uma infraestrutura que permite o gerenciamento inteligente de utensílios domésticos, que utilizam tecnologias de comunicação de dados (redes cabeadas ou não), provendo uma integração entre

os elementos e os softwares de gerenciamento, os quais facilitam o uso de sistemas residenciais (por exemplo, a criação de perfis de utilização dos utensílios domésticos), com o foco na redução do consumo de energia [MussiToschi et al., 2017].

Neste capítulo, serão abordados de forma detalhada os conceitos do *Smart Grid*, principalmente da *Smart Home* - foco central desta tese, que representa um cenário onde todos os elementos necessários para o gerenciamento inteligente do ambiente residencial dos diversos usuários (atores) estão envolvidos. Além disso, também serão discutidas as normas e soluções de interoperabilidade para integração destes elementos, bem como a possibilidade de utilização de soluções de Internet das Coisas para prover acesso remoto em qualquer lugar.

2.2 - DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DOS SMART GRIDS

Embora não haja um consenso sobre a definição precisa de *Smart Grid* e quais seus objetivos, todas as definições tornam clara a necessidade de utilização das TIC para a integração total dos dispositivos e dos serviços oferecidos pelos sistemas de energia elétrica, incluindo a integração de todos os tipos de sistemas geradores de energia elétrica, em especial, aqueles baseados em energias limpas e renováveis, a fim de aumentar a eficiência, confiabilidade e qualidade de seu produto.

As principais definições de *Smart Grid* presentes na literatura incluem:

- *European Technology Platform*: “é uma rede elétrica que pode, de forma inteligente, integrar as ações de todos os usuários conectados a ela, a fim de, eficientemente, fornecer uma energia sustentável, econômica e segura” [ETP, 2010];
- *US Department of Energy*: “utiliza tecnologia digital para aumentar a confiança, segurança e eficiência (econômica e energética) dos sistemas elétricos, desde a geração e distribuição até os consumidores, além do aumento do número de geradores distribuídos e recursos de armazenamento” [DOE, 2009];

- *UK Department of Energy and Climate Change: “Smart Grid utiliza sensoriamento, processamento embarcado e comunicação digital para permitir que a rede elétrica seja observável (para medir e visualizar), controlável (para gerenciar e otimizar), automática (para se adaptar e reconfigurar em caso de panes) e completamente integrada (para permitir a interoperabilidade dos vários sistemas já existentes e com capacidade de incorporar diversos conjuntos de recursos energéticos)” [DECC, 2009].*

Diversos estudos definem *Smart Grid* como um processo além das características de *Smart Metering*, ou seja, processo inteligente de faturamento de consumo [Meltron & Ambrosio, 2010]. De forma geral, *Smart Grid* pode ser entendido como uma rede capaz de gerenciar os dispositivos elétricos em diversos domínios, provendo eficiência, confiabilidade, segurança e qualidade de serviços [Mahesh & Janake, 2010] [GridWise, 2005] [Matias et al., 2010] [Nelson & FitzPatrick, 2011], com destaque para as seguintes características:

- **Ecologicamente correta:** *Smart Grid* deverão utilizar todos os tipos de recursos renováveis, minimizando, gradualmente, a necessidade de utilização de fontes de energia emissoras de gás carbônico e usinas nucleares;
- **Geração distribuída:** fontes de energia renováveis não podem substituir diretamente os sistemas existentes, visto que estes últimos, já estão bem consolidados e os geradores que utilizam as fontes renováveis não são suficientes para atender a demanda existente. Assim, gradativamente, as fontes renováveis serão inseridas no sistema elétrico suprindo demandas locais, compondo assim um sistema de geração distribuído e interligado;
- **Confiabilidade:** utilizar tecnologias de ponta e inteligentes para permitir a comunicação e a troca de informações em tempo real entre geração, transmissão, distribuição e consumidores, para assim eliminar a necessidade de interferência humana nas tomadas de decisão para a proteção do sistema;

- Flexibilidade: permite aos operadores do sistema escolher as melhores transações financeiras. Diferentes tecnologias de gerenciamento de demanda e várias formas de geração serão possíveis. Isto irá diversificar as opções de operação que irão auxiliar no cumprimento das metas de confiabilidade, ambientais e econômicas;
- Eficiência: a transmissão de energia elétrica apresenta uma alta eficiência, enquanto que a distribuição possui uma baixa eficiência. Já para a geração de energia, em muitos casos o sistema opera com baixa eficiência devido a restrições operacionais. Em *Smart Grid*, com as gerações distribuídas, a separação clássica entre os tipos de redes deixa de existir, as redes de distribuição irão compartilhar as responsabilidades das redes de transmissão. Necessita-se, então, de sistemas altamente eficientes em todos os setores;

De forma geral, os *Smart Grid* possuem um conjunto de novas características, quando comparado com os sistemas elétricos tradicionais, destacando-se [Xue-Song et al., 2010]:

- Auto-recuperável: realiza continuamente a avaliação *on-line* e o pré-controle de falhas da rede de energia elétrica;
- Interativo: proporciona interações inteligentes entre as corporações e os clientes a fim de que haja, nos dois sentidos, fluxo de energia, de informações e de capital;
- Robusto: capaz de identificar e responder melhor a desastres de origem humana e natural;
- Otimizado: apresenta melhorias na utilização de ativos da rede, na redução efetiva dos custos operacionais e de manutenção, na redução dos custos dos investimentos e no controle da perda de energia;

- Compatível: apresenta compatibilidade e interoperabilidade entre sistemas de geração de energia centralizada e sistemas de geração e armazenagem distribuídos;

2.3 – OBJETIVOS DOS *SMART GRIDS*

Assim como a definição de *Smart Grid* não é precisa, seus objetivos também podem variar de país para país. No Brasil, por exemplo, tem-se como principal objetivo a eficiência energética, enquanto que na Europa é o desenvolvimento de um sistema confiável capaz de suprir a escassez de energia elétrica.

No Brasil, podem-se enumerar, como principais, os seguintes objetivos:

- Aumentar a eficiência energética;
- Aumentar a confiabilidade do sistema, reduzindo as possibilidades de apagões;
- Diminuir as perdas comerciais – popularmente conhecidas como “gatos”;
- Aumentar a disponibilidade/capilaridade do sistema de energia elétrica: citando Cyro Vicente Boccuzzi, Pres. do Conselho do Fórum 2010 Latino Americano de *Smart Grid*: “em alguns casos, é mais barato obter energia de células solares do que solicitar o atendimento da concessionária, em regiões distantes” [FLASG, 2010].
- Atender à legislação ambiental.

Na Europa, destacam-se [ETP, 2010]:

- Desenvolver um sistema flexível, capaz de atender a todas as necessidades dos consumidores – diminuir a escassez de energia elétrica;
- Garantir conexão a todos os novos usuários, especialmente aos geradores baseados em fontes de energia renováveis e limpas, diminuindo a dependência de energia nuclear;
- Garantir segurança e qualidade de energia compatível com a “era digital”;
- Operar com o menor custo em um cenário de inovação, eficiência energética e alto nível de competição e regulamentação – diminuir os preços elevados;

- Integrar com a comunidade e com outros serviços (gás, água, segurança, Internet, TV a cabo etc.).

Enquanto que nos Estados Unidos, tem-se como principais objetivos [NIST, 2014]:

- Aumentar a confiabilidade e a qualidade do sistema elétrico;
- Melhorar a capacidade e eficiência das redes elétricas existentes;
- Aumentar a resistência e a capacidade de recuperação contra eventos naturais e ataques cibernéticos (atacados terroristas);
- Acomodar toda nova solução de geração, principalmente oriundas de fontes limpas e renováveis, inclusive armazenamento de energia e geração distribuída;
- Reduzir a emissão de carbono na geração de eletricidade;
- Dar suporte ao processo de transição para veículos elétricos “*plug-in*”;
- Criar novos produtos, serviços e mercados.

2.4 – DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO DAS REDES DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Os *Smart Grid* envolvem um vasto número de sensores (presentes na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica), medidores inteligentes, sistemas SCADA e dispositivos *in-home*, os quais irão interagir através da rede de transmissão de dados implantada, fornecendo aos usuários do *Smart Grid* um conjunto de aplicações variando desde automação e controle, até aplicações de verificação *online* do custo da energia elétrica (*Smart Home*) ou utilização da infraestrutura para acesso a serviços disponibilizados pela concessionária por meio de um *backbone* de dados, da própria infraestrutura de distribuição de energia ou implantando soluções alternativas como redes *wireless* ou *wired*, dando suporte à segurança da informação dos dados trafegados nessa infraestrutura [McDaniel & McLaughlin, 2009].

Evidencia-se, então, que o sistema de transmissão de dados empregado é um elemento crucial no desenvolvimento dos serviços para *Smart Grid* e que a implantação de um sistema ineficiente pode acarretar em situações desastrosas. Em paralelo, há também a necessidade de integração desses elementos para que

haja um compartilhamento de informações de forma transparente sem qualquer interferência ou inabilidade técnica para estabelecimento desta funcionalidade.

Os desafios envolvidos na implementação das redes de transmissão de dados para *Smart Grid* compreendem [Sauter e Lobashov, 2011]:

- Alta confiabilidade e disponibilidade: os nós devem ser acessíveis em todas as circunstâncias;
- Gerenciamento automático de redundâncias: a rede de transmissão de dados deve ser capaz de se reconfigurar e se readaptar automaticamente utilizando as redundâncias para manter o serviço disponível mesmo em situações adversas;
- Alta capilaridade: os nós estão distribuídos por uma ampla área geográfica;
- Escalável: assumindo-se que há um medidor de energia por cliente conectado à rede de dados, uma estação primária pode fornecer até dezenas de milhares de nós, particularmente em áreas de grande concentração de prédios. Apesar dos pacotes de dados serem geralmente pequenos, o volume total dos dados a serem transferidos na rede é substancial, o que pode se tornar um problema;
- Atrasos e tempo de resposta adequados: os algoritmos e mecanismos de QoS devem tratar adequadamente as diversas classes de dados oriundas de diferentes classes de aplicação;
- Segurança: os dados transmitidos dentro do *Smart Grid* são considerados críticos, em particular, quando são dados de controle do sistema elétrico;
- Fácil implantação e manutenção: devem prever facilidades não apenas na instalação inicial, mas principalmente na manutenção da infraestrutura durante a operação. Características como análise de erros e de localização dos mesmos, fácil atualização de *firmware* e *software*, e configuração remota são essenciais.

2.5 - MODELOS DE REFERÊNCIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS REDES DE TRANSMISSÃO DE DADOS DOS *SMART GRID*

No atual estudo e planejamento dos sistemas de telecomunicações dos *Smart Grid*, uma das principais dificuldades consiste em ainda não se ter conhecimento exato de como será a arquitetura destes sistemas [Sooriyabandara & Ekanayake, 2010] [Budka et al., 2010], existe ainda a necessidade de fornecer mecanismos de interoperabilidade para prover a integração de diversos sistemas complexos, em todos os seus níveis, por meio de conexões *wired* ou *wireless* [NIST, 2014].

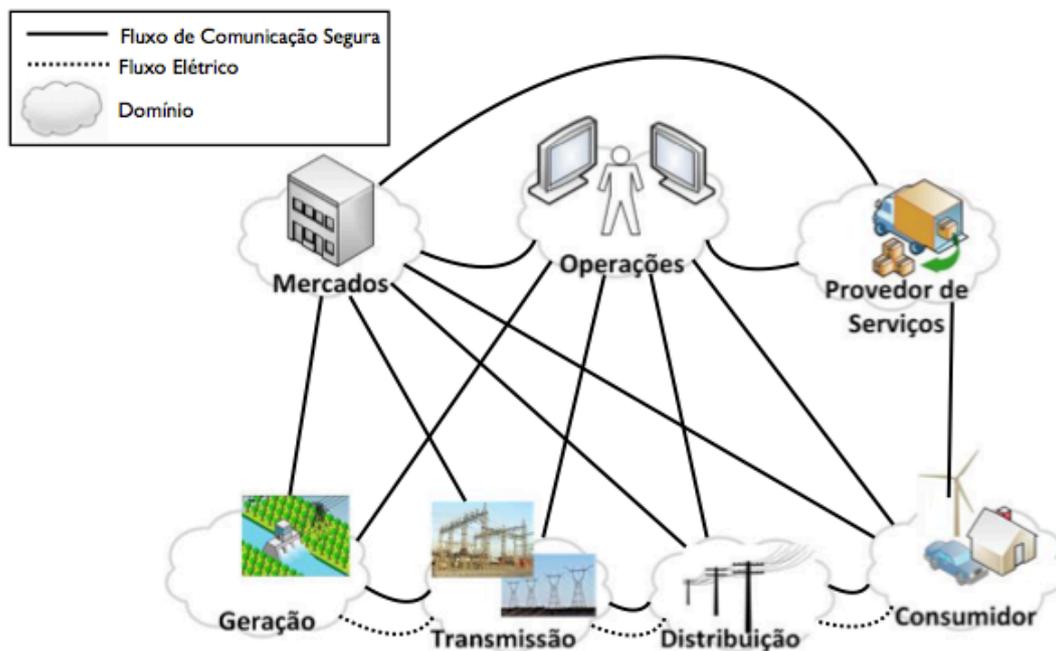
A fim de disponibilizar uma método útil de identificar os atores e os domínios, os possíveis canais de comunicação, a interação intra-domínio e inter-domínio, além das potenciais aplicações do *Smart Grid*, o NIST desenvolveu um modelo conceitual de referência para os *Smart Grid*. Neste modelo de referência, divide-se os *Smart Grid* em sete domínios, os quais são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Domínios e atores no modelo conceitual dos *Smart Grid* [NIST, 2014].

Domínios	Atores no domínio
Consumidores	Os usuários finais que utilizam a eletricidade. Além de simplesmente consumir energia elétrica, também podem gerar, armazenar e gerenciar o uso da energia. Tradicionalmente, há três tipos de consumidores: residencial, comercial e industrial.
Mercado	Os operadores e participantes do mercado elétrico.
Provedores de Serviço	As organizações que proveem serviços aos consumidores e as empresas do setor elétrico.
Operação	Os gerentes do sistema elétrico.
Geração em larga escala	Os geradores de eletricidade em larga escala. Também podem armazenar energia para distribuir posteriormente.
Transmissão	Os sistemas de transmissão de longa distância de eletricidade em larga escala. Também podem armazenar e gerar energia elétrica.
Distribuição	Os sistemas de distribuição de energia elétrica, também inclui a distribuição da energia gerada pelos consumidores. Também podem armazenar e gerar energia elétrica.

A interação entre os atores de diferentes domínios, através da rede de transmissão de dados e da rede elétrica, é apresentada na Figura 2.1. O diagrama conceitual de referência para a rede de informação dos *Smart Grids* é apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.1 –Interação entre os atores de diferentes domínios.

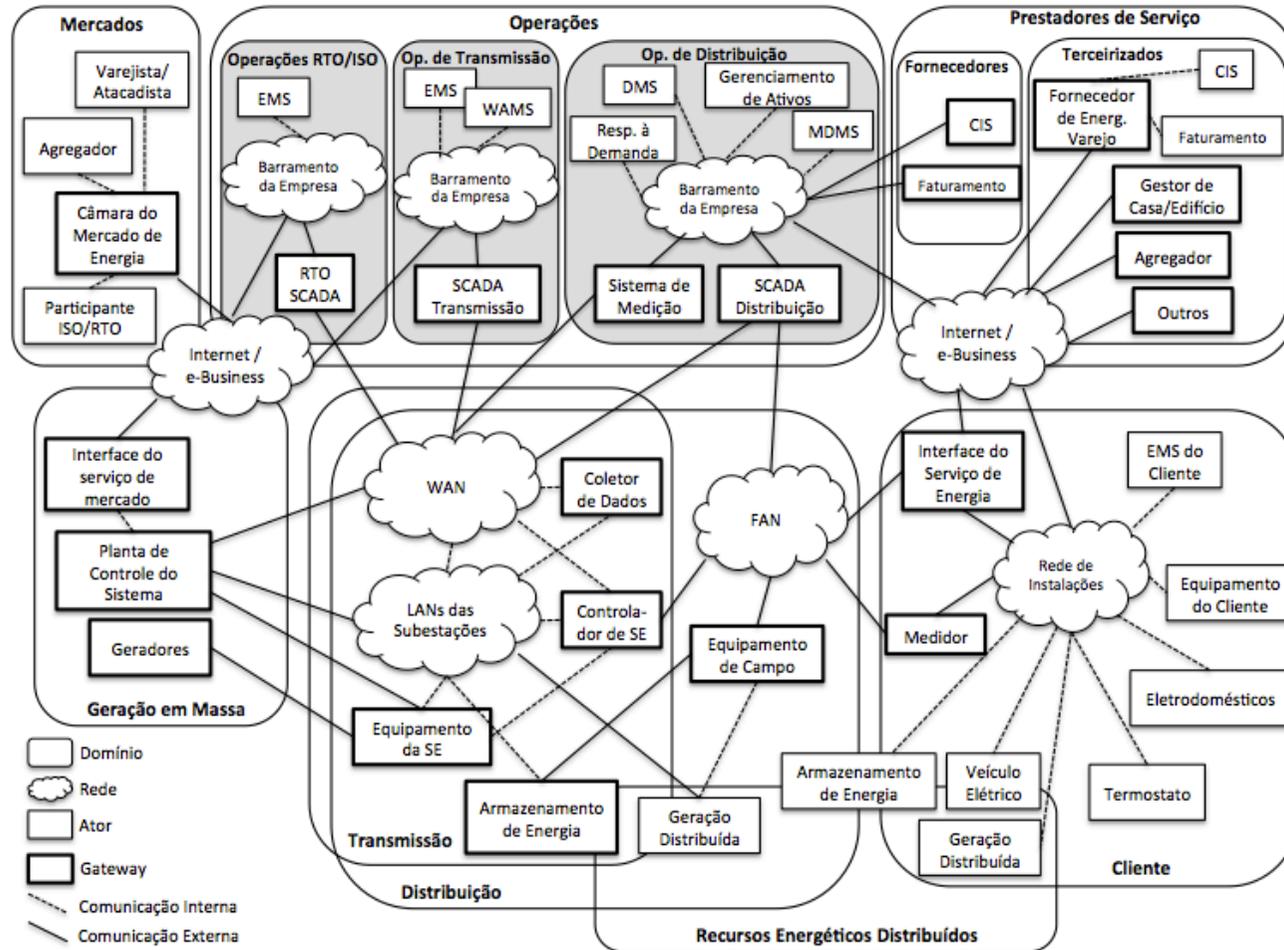


Fonte: Adaptada de [NIST, 2014].

Conforme o modelo conceitual de *Smart Grid*, os primeiros quatro domínios (geração, transmissão, distribuição e consumidores) devem garantir uma comunicação bi-direcional entre os consumidores (residenciais e comerciais) e a AMI, com a responsabilidade de prover um controle efetivo (por exemplo, compartilhamento de dados) para todos os sistemas do domínio. Os últimos três domínios (mercado, operação e provedores de serviços) se referem ao sistema de gerenciamento da rede, de distribuição contínua de energia e o de provisionamento e fornecimento de serviços.

No caso em particular do consumidor, [Nelson & FitzPatrick, 2011] [Hoosain & Paul, 2017], referem-se ao gerenciamento de energia do lado da demanda, juntamente com o controle e gerenciamento de eletrodomésticos para equilibrar e otimizar o consumo de energia residencial. Trata-se de um dos nove requisitos para aplicações de *Smart Grid* (gerenciamento pelo lado da demanda e eficiência energética), quando empregado para cenários de *Smart Home*.

Figura 2.2 – Diagrama conceitual de referência para a rede de transmissão de dados do *Smart Grid*.



Fonte: Adaptado de [NIST, 2014].

Os elementos que compõem o diagrama da Figura 2.2 são descritos como [NIST, 2014]:

- **Domínio:** cada um dos sete domínios apresentados, em uma descrição de alto nível, é um grupo de organizações, empresas, indivíduos, sistemas, dispositivos ou outros atores, que possuem objetivos semelhantes e proveem e/ou participam de tipos de aplicações semelhantes. Os domínios podem conter subdomínios. Além disto, alguns domínios podem ter a sobreposição de funcionalidades, como é o caso da transmissão e da distribuição, os quais, em muitos casos, compartilham a mesma infraestrutura de rede de energia elétrica;
- **Ator:** pode ser um dispositivo, sistema, programa, organização ou indivíduos os quais participam do *Smart Grid* e possuem a capacidade de tomar as decisões e de trocar informações entre si. As organizações podem ter atores atuando em mais de um domínio;
- **Ator *gateway*:** ator em um determinado domínio que se comunica com atores em outros domínios ou em outras redes. Os atores *gateway* podem utilizar uma variedade de protocolos de comunicação, desta forma, é possível que um ator *gateway* utilize um protocolo diferente de outro ator no mesmo domínio, ou que utilize múltiplos protocolos simultaneamente;
- **Rede de Informação:** é uma coleção, ou associação, de computadores interconectados, dispositivos de comunicação e de outras tecnologias de informação e comunicação. Os *Smart Grid* consistem de uma ampla variedade de redes, sendo que nem todas são mostradas no diagrama;
- **Links de informação:** demonstram a troca de dados entre os atores ou entre atores e redes.

2.6 – MODELOS DE INTEROPERABILIDADE

Em geral, a interoperabilidade é a capacidade de duas ou mais redes, sistemas, dispositivos, aplicativos ou componentes trocarem informações, de maneira segura e confiável, em diferentes infraestruturas. Eles podem até estar localizados em diferentes regiões geográficas e culturais, ou seja, representam um alto grau de heterogeneidade no ambiente [IEEE2030, 2011].

2.6.1 - INTEROPERABILIDADE PARA *SMART GRID*

No que tange ao domínio de interoperabilidade para *Smart Grid*, o objetivo é fornecer às organizações, a capacidade de realizar a comunicação entre os diversos dispositivos instalados, de forma eficaz, e transferir dados significativos, mesmo que estejam utilizando diferentes sistemas de informação, sobre infraestruturas distintas, podendo estar localizadas em regiões diferentes geográfica e culturalmente, ou seja, um alto grau de heterogeneidade [Leccese, 2012].

Além disso, existem diversos desafios a serem superados para que a integração entre os dispositivos envolvidos seja alcançada, devendo, necessariamente, atender às seguintes características [GridWise, 2012]:

- Significado compartilhado de conteúdo,
- Identificação indiscutível (pessoas, lugares, coisas),
- Tempo e sequenciamento,
- Configuração (set up),
- Segurança e privacidade,
- Desempenho, confiabilidade, escalabilidade,
- Evolução do sistema (implantação de revisão em um ambiente heterogêneo), e
- Preservação do sistema.

Características como estas, relacionadas à padronização de interoperabilidade para *Smart Grid*, estão presentes, por exemplo, no documento de padronização do Governo Americano, “*NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*”, no qual é especificado um modelo que propõe uma aproximação dos consumidores finais ao processo de negócios dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica [Villa et al., 2011] [Shudong et al., 2010], propondo, ainda, a criação de um fórum denominado Painel de Interoperabilidade para *Smart Grid*, a fim de promover o

desenvolvimento e evolução dos padrões de interoperabilidade para *Smart Grid*, possuindo três funções primárias [NIST, 2014]:

- Supervisionar as atividades destinadas a acelerar o desenvolvimento de especificações de interoperabilidade e segurança cibernética para os padrões de definição das organizações;
- Fornecer orientação técnica para facilitar o desenvolvimento de padrões de segurança para interoperabilidade em *Smart Grid*;
- Especificar requisitos de teste e certificação necessários para avaliar a interoperabilidade dos equipamentos relacionados de *Smart Grid*.

Outro padrão definido para *Smart Grid* foi o *Advanced Metering Infrastructure* (AMI), que consiste em uma comunicações de *hardware* e *software* e de sistema de gerenciamento de dados, que, juntos, criam uma rede de mão dupla entre medidores avançados e sistemas de negócios de serviços públicos, permitindo a coleta e a distribuição de informações aos clientes e outras partes interessadas [GridWise, 2012] [Vehbi *et al.*, 2011], incluindo métodos avançados de medição, comunicação e controle, auxiliando na interação entre os consumidores e o sistema de energia [Huibin *et al.*, 2011]. Este padrão também é utilizado como uma das 8 áreas prioritárias que compõem o NIST (2014), recomendado pela Comissão Federação de Regulamentação de Energia do Governo Americano.

Outra padronização foi definida pelo IEEE Std 2030 [IEEE2030, 2011], com base em alguns padrões existente como, por exemplo, o AMI, onde é estabelecido o *Smart Grid Interoperability Reference Model* (SGIRM), que fornece uma base de conhecimento abordando a terminologia, características, desempenho funcional e critérios de avaliação, bem como a aplicação de princípios de engenharia para a interoperabilidade de *Smart Grid* no sistema de energia elétrica, com uso de aplicações, sendo esta uma abordagem de sistemas para interoperabilidade em *Smart Grid*, elaborada como ferramenta para projeto que permite extensibilidade, escalabilidade e capacidade de atualização.

A norma IEC61850 é outra padronização de mercado, tendo como principal objetivo garantir a interoperabilidade entre dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) de diversos fabricantes visando à troca de informações entre eles [IEC61850, 2005]. Concebido em meados dos anos 1990, o projeto *Utilities Communications Architecture* (UCA), do EPRI (*Electric Power Research Institute*), reuniu três grupos de trabalho, que formavam o Comitê Técnico TC57 da IEC (*International Electrotechnical Commission*), e que trabalhavam individualmente, para elaborar um padrão de comunicação entre Sistemas em Subestações, que fosse internacionalmente aceito. A este padrão se denominou IEC 61850 *Communication Networks and Systems in Substation* [IEC61850, 2005].

Desde então, diversos trabalhos como [Kanabar & Sidhu, 2011], [Higgins et al., 2011] e [Dolezilek, 2010], comprovaram a eficácia do padrão, no que tange à interoperabilidade e ao desempenho na troca de informações em sistemas complexos, constituídos por inúmeros IEDs novos e por equipamentos legados, de fabricantes diferentes, possibilitando o desenvolvimento e aceitação do padrão pelo mercado. Esta adoção permitiu avanços no escopo do padrão, tais como IEC61850-90-1 (que trabalha comunicação entre Subestações) e a IEC 61850-90-2 (que discute a comunicação entre Subestação e Centro de Operação), levando o padrão a ser repensado para “*Communications networks and systems for power utility automation*” [Ward et al., 2008] [Schossig, 2010]. Atualmente, o *roadmap* IEC, em seu apêndice 6, identifica o padrão IEC 61850 como um dos sete padrões fundamentais para a implantação do *Smart Grid* do futuro [IEC, 2012].

O *Smart Grid Interoperability Platform* (SGIP) é outro padrão de interoperabilidade construído com base em um modelo semântico comum que permite que as aplicações “falem” o mesmo idioma e, portanto, garanta a interoperabilidade baseada em dados. Além da interoperabilidade baseada em dados, a interoperabilidade baseada em comunicação é suportada por meio do *middleware* de comunicação que oferece suporte à comunicação cliente-servidor e *publish-subscribe*. Em última análise, todos eles permitem a comunicação centrada em dados em *Smart Grid* [Kim et al., 2017].

No mercado, ainda existem diversas padronizações que estabelecem diferentes níveis ou modelos de interoperabilidade, conforme a especificidade de sua infraestrutura, cada uma com regras próprias, ou seja, na possibilidade de integração de duas redes de domínios (arquiteturas) diferentes, essa comunicação poderá não ser efetivada por divergências de regras em algum nível.

2.6.2 - INTEROPERABILIDADE PARA *SMART HOME*

Quando se pretende alcançar a integração entre sistemas heterogêneos, opta-se pela utilização de normas para se desenvolver soluções interoperáveis ou o desenvolvimento de aplicativos (softwares com bibliotecas e interfaces comunicação em redes), para alcançar esta integração desejável.

Para o domínio de interoperabilidade em *Smart Home*, o objetivo é fornecer às organizações, a capacidade de realizar a comunicação entre os diversos dispositivos instalados, de forma eficaz, e transferir dados significativos, mesmo que estejam utilizando diferentes sistemas de informação, sobre infraestruturas distintas, podendo estar localizadas em regiões diferentes geográfica e culturalmente, ou seja, representando um alto grau de heterogeneidade.

O mercado hoje define alguns padrões de interoperabilidade para o domínio de *Smart Grid*, sendo que *Smart Home* está presente como um elemento de borda. Além dos documentos de padronização citados anteriormente que também tratam da *Smart Home*, destacam-se os seguintes documentos de padronização específicos para o domínio de *Smart Home* o ISO/IEC 18012-2:2012(E) que especifica modelos de interoperabilidade de aplicações para prover a interoperabilidade de produtos para *Smart Home*; outras padronizações também são especificadas como IEC 61850, IEC 15045-1, IEC 15045-2, entre outros.

Além dos documentos de padronizações estabelecidos para prover a interoperabilidade nos mais diversos domínios do *Smart Grid*, existem outras formas para se alcançar a integração entre sistemas heterogêneos, empregando soluções de interoperabilidade como *middleware*, sendo uma camada de *software* que provê uma abstração de programação, assim como o mascaramento

da heterogeneidade de redes de computadores, hardware, sistemas operacionais e linguagens de programação [Zhou & Rodrigues, 2013].

Considerando a complexidade do cenário de *Smart Home*, existe uma necessidade de integração e colaboração entre elementos heterogêneos como redes de comunicação *indoor* e *outdoor*, sistemas de gerenciamento e controle, e outros utensílios (como ar condicionado, TV e máquina de lavar) por meio de sensores e atuadores. O *middleware* tem o papel fundamental de fornecer uma abstração para permitir a efetivação desta comunicação entre todos os componentes envolvidos, de forma eficiente e transparente, mascarando a complexidade da integração em sistemas heterogêneos.

Das alternativas computacionais disponíveis para o desenvolvimento do *middleware* proposto nesta tese, foi escolhido um modelo largamente utilizado e compatível com a definição proposta em SmartCom, sendo baseado em *Middleware* Orientado à Mensagem (MOM), conhecido como *Web Services*, mais especificamente soluções baseadas em REST, que permitem uma interoperabilidade mais efetiva e escalável entre os componentes da *Smart Home* [Kamilaris & Pitsillides, 2013].

As soluções baseadas em *Web Services* (WS) são comumente utilizadas na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações heterogêneas, sendo caracterizadas como um serviço distribuído e, a partir desta tecnologia, é possível que novas aplicações possam interagir com plataformas em funcionamento, abstraindo uma camada de interoperabilidade. Estes serviços podem ser desenvolvidos usando uma ampla gama de tecnologias, incluindo SOAP, REST, RPC, DCOM e CORBA, onde cada uma dessas abordagens fornece seu próprio modelo para a concepção e implementação de aplicações orientadas a serviços [Al-Jaroodi & Mohamed, 2012].

Apesar de existirem diversas soluções, os WS mais referenciados na literatura especializada são [Al-Jaroodi & Mohamed, 2012] [Belqasmi et al., 2011] [Varga et al., 2011]: baseados no protocolo SOAP- *Single Object Access Protocol* e em estilo REST - *Representational State Transfer* - ou RESTful *Web Services*. REST e SOAP são bastante diferentes, pois SOAP é um protocolo de mensagens enquanto que

REST é um estilo de arquitetura de rede para serviços hipermídia distribuídos, isto é, sistemas hipermídia que permitem o armazenamento e recuperação de informações que incluem meios de comunicação diferentes como: texto, áudio, vídeo e (hyper)links.

Embora ambas as soluções sejam bastante utilizadas, as baseadas em SOAP perderam espaço para as baseadas em REST, devido ao fato dos serviços RESTful serem facilmente implementados usando padrões bem conhecidos, tais como HTTP e XML. Além disso, garante alta escalabilidade, uma vez que reduz a complexidade do servidor e não precisa manter informações de estado do cliente [Guilly et al., 2013].

Outro fator que corrobora para a utilização de soluções de WS em ambientes de *Smart Home* é a sua natural integração com soluções baseadas em Internet das coisas (IoT), como serviços de computação em nuvem.

A IoT refere-se à rede de objetos, dispositivos, máquinas, veículos, edifícios e outros sistemas físicos com capacidades integradas de detecção, computação e comunicação, que entendem e compartilham informações em tempo real sobre o mundo físico [Marc et al., 2016].

Fazendo uso das soluções IoT para controle doméstico, incluindo tecnologias de informação e comunicação (especialmente aquelas que asseguram alta escalabilidade e disponibilidade de serviços), pode haver compartilhamento de informações e a possibilidade de gerenciamento remoto de aparelhos em tempo real, que irá fornecer acesso aos usuários a qualquer momento em qualquer lugar, a todos os dispositivos conectados na casa.

A IoT é capaz de conectar elementos do mundo real e incorporar a inteligência no sistema de comunicação para processar suas informações detalhadas e tomada de decisão autônoma, é dividido em camadas que representam a arquitetura de operação e gerenciamento [Kraijak & Tuwanut, 2015]. Essas camadas podem ser representadas como sensores, atuadores e coletores (camada inferior), seguidos pela camada de rede, que desempenha um papel importante na transferência e segurança das informações passadas para a camada superior. A camada de *middleware* se destina a fornecer serviços de

gerenciamento e armazenamento de dados para as camadas mais baixas. As camadas superiores estão ligadas a aplicativos e regras de negócios, que são responsáveis pela criação de estratégias inteligentes.

A IoT geralmente é alinhada com baixa potência, sensores de baixa memória e restrições de bateria e rede, o que significa que há necessidade de processamento de dados, armazenamento, acesso e análise limitados [Zaslavsky et al., 2013]. Essas limitações podem ser atenuadas pelo uso de outras tecnologias, como o serviço da nuvem que fornecerá processamento e memória sob demanda, bem como diferentes tipos de software que podem interagir com outras aplicações. Além disso, quando a IoT é combinada com a nuvem, existem grandes quantidades de dados que podem ser coletados de vários locais e processados e analisados para criar informações úteis para os usuários finais.

Um serviço de computação em nuvem é uma das tecnologias amplamente utilizadas na IoT, que, além de fornecer recursos compartilhados, armazenamento, software e informações, permite acesso externo a partir de qualquer dispositivo conectado à Internet [Nepal et al., 2011] [Januzaj et al., 2015].

A arquitetura proposta nesta tese de doutorado objetiva utilizar solução baseada em IoT (serviços de computação em nuvem), com a finalidade de prover acesso a todos os dispositivos conectados à residência por meio da Internet ou da rede privada da concessionária de energia (via AMI) de forma a melhorar assim o gerenciamento e monitoramento externo de serviços, como gerenciamento de energia, segurança e conforto.

2.7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo estudo apresentado neste capítulo, observa-se que há uma série de desafios a serem superados para implantação dos *Smart Grids*, que vão desde o desenvolvimento e implementação dos novos dispositivos elétricos, necessários para a integração dos diferentes sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, passando pelo desenvolvimento e implementação de sistemas de transmissão de dados que proporcionem uma adequada troca de informação

entre os dispositivos no *Smart Grid*, até a padronização das camadas de interoperabilidade para estabelecimento da troca de informações e compartilhamento de recursos.

Diante da necessidade de desenvolvimento e implementação de novos sistemas, dispositivos e serviços, várias entidades, entre os quais se destaca o NIST (2014), há uma urgente necessidade de estabelecimento de protocolos e padrões para os *Smart Grids*.

Contudo, mesmo sem estes protocolos e padrões estarem totalmente especificados e implementados e com uma série de desafios tecnológicos a serem superados, os *Smart Grids* já estão em desenvolvimento e tem atraído diversos investimentos dos setores público e privado, incluindo a criação de comissões para estudo e estabelecimento de padrões a serem adotados.

Notadamente, para o domínio de *Smart Home*, esta integração ainda é de alta complexidade devido a grande carência de uma rede de comunicação de dados privada a partir da concessionária de distribuição de energia, para fornecimento de serviços para o consumidor final. No intuito de tentar diminuir este hiato, esta tese propõe uma arquitetura para prover interoperabilidade em *Smart Home*, a partir da especificação de uma solução de monitoramento e gerenciamento residencial inteligente, com comunicação para a rede da concessionária e para a Internet.

CAPÍTULO 3 – LÓGICA FUZZY APLICADA À SMARTCOM

3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo descreve primeiramente um panorama geral dos paradigmas de inteligência artificial (IA) e, posteriormente, é realizada uma breve introdução da técnica empregada nesta tese, a Lógica Fuzzy. Inclui-se também a modalegem do sistema Fuzzy, dentro das especificações da arquitetura SmartCom, para auxiliar na tomada de decisão do usuário residencial, a partir de uma análise criteriosa relacionada à utilização “usuário vs. equipamento”, com o intuito de reduzir o consumo energético.

3.2 – INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL

A busca por sistemas artificiais que apresentam algum tipo de comportamento inteligente, similar ao exibido por muitos sistemas biológicos (incluindo seres humanos) sempre fascinou muitos cientistas. Os sistemas biológicos são resultado de um longo processo de evolução natural e apresentam características como adaptabilidade, tolerância a falhas e robustez a variações ambientais. Tais características são bastante desejáveis em uma grande variedade de problemas das mais diversas áreas de conhecimento, levando diversos pesquisadores a propor estratégias que procuram emular alguns dos aspectos observados em sistemas biológicos naturais. Neste contexto e com o intuito de desvendar os mistérios relacionados à inteligência, surgiu na década de 50 a inteligência artificial - IA [Russel & Norvig, 2013].

A IA compreende paradigmas computacionais que procuram desenvolver sistemas que apresentam alguma forma de inteligência similar à exibida por determinados sistemas biológicos. Alguns dos paradigmas que compõem a IA foram de fato inspirados em sistemas biológicos (como as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos), enquanto que outros, apesar de não terem inspiração biológica, tentam gerar sistemas que produzam algum tipo de comportamento próximo ao observado em sistemas naturais (como por exemplo, o raciocínio aproximado dos sistemas Fuzzy). A forma como o

conhecimento serviu de inspiração para a modelagem computacional da inteligência deu origem aos paradigmas que compõem a IA, onde podem-se destacar como os principais [Rêgo, 2016]:

Paradigma Simbólico: consiste de um conjunto de símbolos que formam estruturas e um conjunto de regras e processos. Quando o conjunto de regras e processos é aplicado no conjunto de símbolos o sistema produz novas estruturas. Os símbolos têm significados semânticos e podem representar conceitos ou objetos. Para lidar com estes conceitos usa-se a lógica proposicional e a lógica de predicados o que permite a solução de problema usando um sistema baseado em regras. Assim um sistema simbólico é capaz de resolver problemas que envolvem dados e as regras sobre estes dados.

Paradigma Conexionista: tem como premissa a suposição de que o comportamento inteligente está relacionado com a dinâmica das conexões entre pequenos nós denominados neurônios, onde tal dinâmica é capaz de representar o conhecimento. Diferentemente do paradigma simbólico, no modelo conexionista o estado dos neurônios representam um conceito ou um objeto e a dinâmica que leva à representação do conceito ou objeto é que estabelece as regras sobre tais objetos e conceitos. Na prática, os dois paradigmas podem se juntar para formar um terceiro paradigma, uma mistura do sistema simbólico com um sistema conexionista.

Paradigma Evolutivo: este paradigma, diferentemente do convencional, não exige, para resolver um problema, o conhecimento prévio de uma maneira de encontrar uma solução. Este paradigma é baseado em mecanismos evolutivos encontrados na natureza, tais como a auto-organização e o comportamento adaptativo. Estes mecanismos foram descobertos e formalizados por Darwin em sua teoria da evolução natural, segundo a qual, a vida na terra é o resultado de um processo de seleção, pelo meio ambiente, dos mais aptos e adaptados, e por isto mesmo com mais chances de reproduzir-se. A diversidade da vida, associada ao fato de que todos os seres vivos compartilham uma bagagem genética comum, pelo menos em termos de seus componentes básicos, é um exemplo eloquente das possibilidades do mecanismo de evolução natural.

Paradigma Nebuloso: A teoria dos conjuntos nebulosos é o modelo mais tradicional para o tratamento da informação imprecisa e vaga. Este paradigma tem por objetivo permitir graduações na pertinência de um elemento a uma dada classe, ou seja, de possibilitar a um elemento de pertencer com maior ou menor intensidade àquela classe. Basicamente, isso se faz quando o grau de pertinência de um elemento ao conjunto, que na teoria dos conjuntos “clássica” assume apenas os valores 0 ou 1, passa a ser dado por um valor no intervalo dos números reais $[0, 1]$.

Nesta tese, não se pretende discutir nem em amplitude nem em profundidade os paradigmas de IA. Para aprofundamento no assunto, sugere-se consultar [Russel & Norvig, 2013], [Faceli et al., 2011]. Para fins do contexto desta tese, será discutida com maiores detalhes a lógica Fuzzy.

3.3 - LÓGICA FUZZY

Em geral, as aplicações de métodos inteligentes de monitoramento e tomada de decisão na área residencial apresentam um excelente desempenho em condições ambientais de rápidas mudanças e incertezas. Os métodos mais utilizados em sistemas inteligentes são: Algoritmos Fuzzy, Algoritmos Genéticos e Redes Neurais [Wu et al., 2017].

O Controlador Lógico Fuzzy (CLF), que utiliza inferência da lógica Fuzzy, pode detectar mudanças repentinas em variáveis heurísticas, tornando-se muito eficiente para aplicações de alerta e tomada de decisão. Também chamada lógica nebulosa ou difusa, é uma teoria que incorpora a experiência, a intuição, o conhecimento especializado e a natureza imprecisa do processo de decisão humana por meio de um conjunto de regras simples ou heurísticas [Liu et al., 2017].

O sistema de controle fuzzy é rápido, responsivo, robusto e capaz de acompanhar variações contínuas nas entradas do sistema. O pré-conhecimento do sistema não é necessário e a matemática envolvida é relativamente simples. Os controladores de lógica Fuzzy são adequados para sistemas residenciais,

levando em conta que eles são caracterizados por alta não-linearidade, flutuações na entrada e variação do ambiente analisado [Letting et al., 2011].

A lógica Fuzzy que foi introduzida primeiramente por Zadeh em 1965, caracterizando-se por ser uma teoria que se utiliza de equações matemáticas para explicar o raciocínio humano. As fórmulas de computação em lógica Fuzzy, via de regra, não são complexas.

A lógica Fuzzy interpreta a informação qualitativa para as relações matemáticas. Isso faz com que seja adequada para explicar o comportamento imprevisível do sistema que pode não ser facilmente modelado. As variáveis são expressas por funções ou curvas de pertinência, entre dois dígitos, principalmente 0 e 1 ou quaisquer outros dígitos. Uma série de pesos descreve o grau de dependência de uma variável a um determinado valor dentro da faixa atribuída.

Para definir um conjunto Fuzzy, tanto os membros do conjunto (valores), quanto o grau de dependência (pesos de cada valor) são necessários.

Operações de lógica Fuzzy ou conceitos Fuzzy são usados para relacionar conjuntos fuzzy [Lilly, 2010], [Lee, 1990]. As principais operações de conjuntos são definidas nas fórmulas 1, 2 e 3:

$$\text{União de dois conjuntos: } A \text{ e } B: M(A(x) + B(x)) = \max(MA(X), MB(X)) \quad (1)$$

$$\text{Interseção de } A \cap B: \min(MA(x), MB(x)) \quad (2)$$

$$\text{Negação: } M(A(x) = (1 - MA(x))) \quad (3)$$

Por necessitar de um baixo poder de processamento e de pouca memória, a lógica Fuzzy é o método inteligente utilizado na arquitetura SmartCom.

3.3.1 - FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA E REGRAS FUZZY

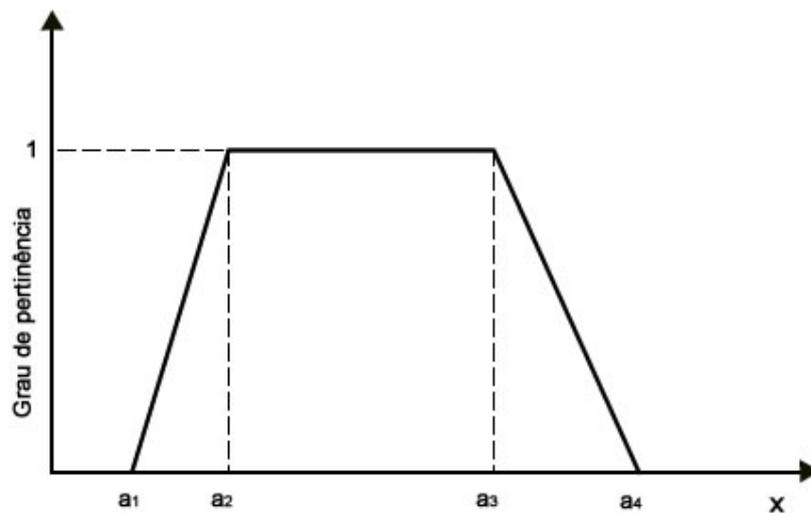
As variáveis de entrada e saída Fuzzy são representadas por Funções de Pertinência (FP ou MF, do inglês Membership Functions). As funções relacionam cada entrada e saída com uma variável ponderada, dependendo da forma da

curva [Zadeh, 1965]. As FPs são geralmente escolhidas pelo projetista do controlador [Lilly, 2010]. As funções de associação mais populares são:

- a. Triangular
- b. Trapezoidal
- c. Gaussiana
- d. Bell
- e. Função de pertinência em formato de “ π ”
- f. Função de pertinência em formato “S”

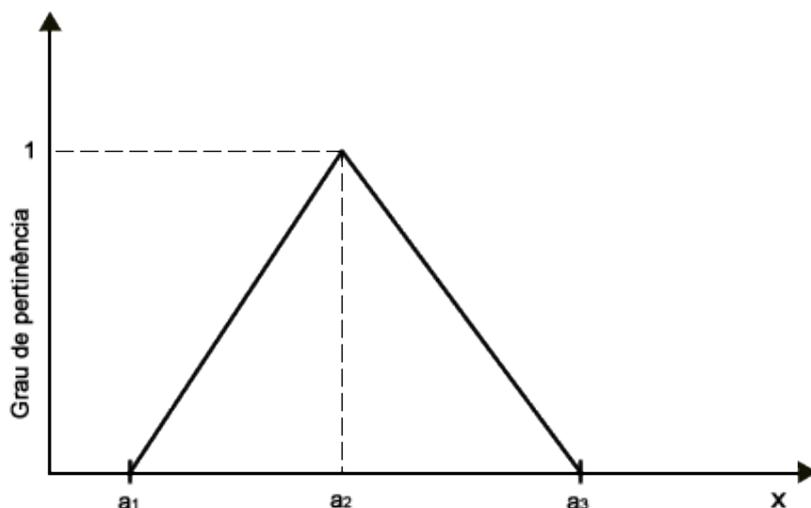
As funções de pertinência mais utilizadas são as quatro primeiras devido à sua simplicidade e capacidade de expressar a maioria das variáveis. As Figuras 3.1 e 3.2 a seguir mostram duas funções básicas Fuzzy [Virant, 2000] [Ali et al., 2015].

Figura 3.1 - Função de Pertinência Trapezoidal.



Fonte: Adaptado de [Virant, 2000] [Ali et al., 2015].

Figura 3.2 - Função de Pertinência Triangular.



Fonte: Adaptado de [Virant, 2000] [Ali et al., 2015].

3.3.2 - REGRAS FUZZY

As regras Fuzzy basicamente estão compreendidas em dois “estilos”, conforme a seguir [Lilly, 2010]:

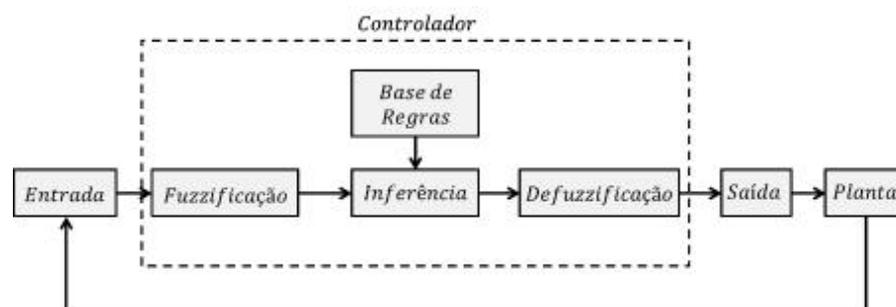
Estilo Mamdani: O tipo Mamdani se caracteriza pelo conjunto de funções de pertinência Fuzzy mais utilizado. Foi introduzido por E.H. Mamdani [Mamdani, 1974] [Mamdani, 1977]. Utilizam-se métodos simples na concepção da função de associação e regras difusas, e é especialmente compatível com sistemas caracterizados por entrar e saídas simples [Chaturvedi, 2010]. O método Mamdani é baseado em grande parte em intuições e conhecimentos humanos, funcionando bem com sistemas imprevisíveis e de grandes incertezas.

Estilo Sugeno: Sugeno Fuzzy foi proposto pela primeira vez por Takagi e Sugeno em 1985 [Takagi & Sugeno, 1985]. Na lógica Fuzzy de Sugeno, as soluções únicas são usadas para dar certos valores à saída de controle [Cao et al., 1997] [Tanaka & Wang, 2001]. O método é eficaz no controle de sistemas complexos não-lineares [Jotsov & Sgurev, 2008]. Uma vantagem deste método é a redução do número de regras em comparação com o método Mamdani, o que o torna adequado para sistemas de alta ordem. Métodos para análise de estabilidade podem ser desenvolvidos usando algoritmos Sugeno [Sugeno, 1999].

3.3.3 - ESTRUTURA DO CONTROLADOR FUZZY

O controle Fuzzy é baseado na incorporação de algoritmos de lógica Fuzzy em sistemas de controle como controladores dependentes ou com outros tipos de controladores. Um controlador Fuzzy é composto dos seguintes blocos: (a) a base de conhecimento, que consiste na base de regras difusa e as definições linguísticas para as variáveis de entrada e saída; (b) o mecanismo de inferência, que aplica as regras difusas para calcular a ativação de cada variável; (c) o bloco de fuzzificação que converte a entrada crisp em uma variável Fuzzy [Sharma, 2011]. O bloco defuzzification que converte a saída do controlador de lógica Fuzzy em uma variável crisp. Na Figura 3.3, os componentes presentes na estrutura básica de um controlador Fuzzy, são representados em um diagrama de blocos.

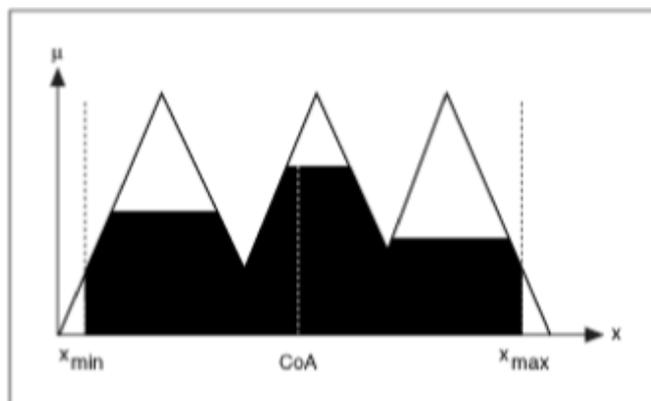
Figura 3.3 - Estrutura básica de um sistema de controle Fuzzy.



Fonte: Autor.

Métodos de defuzzification são usados para converter a variável Fuzzy em uma variável crisp para o resto do sistema de controle. O método *Centroid*, também chamado de Centro de Área (CA em português. No inglês CoA, *Center of Area*), ou o Centro de Gravidade é um método de defuzzificação muito eficiente que pode ser usado com a maioria funções de pertinência de saída. No método CA, o controlador calcula os centros geométricos da área sob as curvas de associação/pertinência [Lee, 1990]. Na Figura 3.4, um gráfico explicativo com o ponto CoA é apresentado.

Figura 3.4 - Defuzzificação tipo Centro de Área.



Fonte: Adaptado de [Sugeno, 1999].

Outro método popular para a defuzzificação é o método da média ponderada; é simples de implementar, mas só pode ser usado com funções de pertinência simétricas. Outros métodos são o método Bisector, o Maior do Máximo, o Menor do Máximo e o Método da Média do Máximo [Naaz et al., 2011].

3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou inicialmente um apanhado geral sobre as técnicas de inteligência computacional referenciadas na literatura especializada. Com esse objetivo foi apresentada uma visão geral da teoria de Lógica Fuzzy, sua modelagem e aplicabilidade dentro de um contexto de redução de consumo de energia a partir de variáveis de entrada de padrões de consumo, a ser utilizada na arquitetura SmartCoM proposta nessa tese.

No próximo capítulo será apresentado o estudo de trabalhos correlatos que realiza um apanhado geral, para efeito de comparação com a proposta desta tese, sobre os trabalhos publicados na literatura especializada.

CAPÍTULO 4 – TRABALHOS CORRELATOS

4.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A integração em larga escala não é uma necessidade exclusiva do setor elétrico. Diversas pesquisas de interoperabilidade são realizadas em setores como sistema bancário, telecomunicação e transporte. A partir dessas integrações, torna-se possível realizar a automação de processos e sistemas.

Atualmente existem diversas propostas para implementação de mecanismos de interoperabilidade entre sistemas, nos seus diversos níveis. Neste capítulo, serão destacadas as propostas específicas para o domínio de *Smart Grid* e, como elemento de borda o *Smart Home*, todos estes relacionados a esta tese de doutorado, com a finalidade de expor uma discussão acerca do estado da arte das áreas envolvidas nesta proposta.

4.2 – PANORAMA BRASILEIRO DE SMART GRID

Neste cenário de estudos relacionados ao desenvolvimento de padrões para *Smart Grid*, os agentes brasileiros responsáveis pelo setor elétrico iniciaram suas pesquisas para estabelecer o padrão no Brasil. Desde 2009, diversas ações foram iniciadas com esta finalidade.

A Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig, lançou em 2009 um programa denominado Cidades do Futuro [CEMIG, 2009], que tinha a finalidade de permitir avaliar a melhoria da prestação de serviços para o consumidor final, por meio da automação das redes de distribuição e modernização do sistema elétrico. O projeto *Cidades do Futuro* irá, após concluído, avaliar a capacidade e os benefícios da adoção da arquitetura *Smart Grid*, a partir dos testes que acontecerão em Sete Lagoas (Belo Horizonte), o que permitirá identificar a viabilidade de expansão para toda a área de concessão da Cemig, bem como validar os produtos, serviços e soluções inovadoras, visando melhorar a prestação de serviços da Companhia.

Seguindo esta iniciativa, empresas como a Light, Eletrobrás e Eletropaulo, criam um cenário para avaliar opções de *Smart Metering*, comunicação e controle de infraestrutura, e para análise de possíveis benefícios de esquemas de autorecuperação da rede em caso de falhas, entre outras funcionalidades relevantes aos serviços de *Smart Grid*. Vale ressaltar que, as empresas brasileiras de distribuição são obrigadas a investir um percentual fixo de sua receita líquida em programas de pesquisa e desenvolvimento (P & D), conforme a lei federal Nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Diante desta lei, as despesas obrigatórias tem sido a principal fonte de financiamento para *Smart Grid* relacionado a projetos de P & D (resultando em investimentos de baixo risco), e também tem sido utilizado, em menor medida, para financiar programas piloto de *Smart Grid* [Lino et al., 2011].

O Ministério de Minas e Energia (MME) criou, por meio da Portaria 440 de 15 de abril de 2010, um grupo de trabalho para analisar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação do “Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente”. O GT é composto por representantes do Ministério de Minas e Energia - MME, da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPTEL, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. O programa abordará, principalmente, os seguintes aspectos [MME, 2010]:

- o estado da arte de programas do tipo *Smart Grid*, no Brasil e em outros países;
- proposta de adequação das regulamentações e das normas gerais dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica;
- identificação de fontes de recursos para financiamento e incentivos à produção de equipamentos no País; e
- regulamentação de novas possibilidades de atuação de acessantes no mercado, o que inclui a possibilidade de usuários operarem tanto como geradores de energia (geração distribuída) quanto consumidores.

Em março de 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), lançou a chamada pública nº 11/2010, denominada Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente, no intuito de realizar estudos e desenvolvimentos que coordenem e integrem a geração de novos conhecimentos tecnológicos em subtemas de grande relevância para o setor elétrico brasileiro, exigindo um esforço conjunto e coordenado de várias empresas de energia elétrica e entidades executoras, associados às recentes tecnologias de informação e comunicação (TIC) proporcionando importantes mudanças na forma de relacionamento entre regulador e concessionária de energia, e entre esta e seus consumidores, acompanhando a tendência mundial de implantação de *Smart Grid*, criando uma rede mais eficiente e segura, adaptativa, interativa, capaz de gerar novas oportunidades de negócios, operada com foco na qualidade e na minimização de impactos ambientais.

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee) criou em novembro de 2009, um grupo de trabalho para estudar redes inteligentes (*Smart Grid*), consideradas a próxima geração de redes de medição e controle de distribuição de energia elétrica. A Abinee também participa da comissão que estuda a definição de um protocolo de comunicação aberto para ser usado por todos os modelos e marcas de medidores de consumo residencial do País, tendo a coordenação a cargo de um comitê da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [Lino et al., 2011]. A padronização irá definir a saída de dados do medidor de consumo elétrico para o equipamento de comunicação, de onde será possível fazer a “telemedição”, ou seja, o protocolo vai permitir ao medidor, a integração com equipamentos de rede como modem e rádio – acoplado ou externo, dependendo da tecnologia. Posteriormente, serão definidas tecnologias de comunicação que poderão ser adotadas para transmissão das informações [ABINEE, 2010].

Em maio de 2011, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD) e o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), criaram uma parceria, denominada NoPa PROGRAMA NOVAS PARCERIAS CAPES/DAAD/GIZ por meio do edital 26/2011, para apoiar o intercâmbio científico entre grupos

de pesquisas brasileiros e alemães e a formação de recursos humanos, e incentivar a inovação tecnológica no setor produtivo público. Na área de Energias Renováveis e Eficiência Energética foi apoiado o projeto na tecnologias e processos com a capacidade de ampliar a eficiência energética como *Smart Grid* [CAPES, 2011].

O ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) publicou em agosto de 2013 a Chamada MCTI/CNPq/CT-ENERG (edital nº 33/2013) – Tecnologia em *Smart Grids*, com o objetivo de apoiar projetos de pesquisa científica, tecnológica e de inovação em *Smart Grids* (Redes Elétricas Inteligentes – REI), estimulando a cooperação entre Instituições de Ensino Superior, Centros de Pesquisa, Empresas do Setor Elétrico e Empresas do Setor Produtivo de forma a contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico do País, nos seguintes temas de interesse [MCTI, 2013]:

- Desenvolvimento de equipamentos que integram as Redes Elétricas Inteligentes (medidores, chaves, transformadores, disjuntores, sensores, etc);
- Desenvolvimento de equipamentos de manutenção e diagnóstico para Redes Elétricas Inteligentes;
- Qualidade de energia em Redes Elétricas Inteligentes;
- Tarifação de energia em Redes Elétricas Inteligentes;
- Redução de perdas comerciais e técnicas em Redes Elétricas Inteligentes;
- Segurança de informação em Redes Elétricas Inteligentes;
- Eficiência e sustentabilidade de Redes Elétricas Inteligentes; e
- Operação de Redes Elétricas Inteligentes.

Em janeiro de 2013, A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a partir de um edital de seleção pública, criaram um plano de negócio de Empresas visando o apoio financeiro a projetos no âmbito do plano de apoio conjunto inovar energia, que tinha a

finalidade de: (i) apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*) no Brasil e; (ii) apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica [ANEEL, 2013].

Em janeiro de 2013, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), lançou a chamada pública nº 0016/2013, denominada Projeto Estratégico: Sistema de monitoramento de qualidade da energia elétrica, cujo objetivo foi desenvolver o sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica por meio de medições com confiabilidade e representatividade para a apuração dos indicadores de continuidade das redes de distribuição, buscando a sinergia de equipamentos e dos sistemas de comunicação, assim como a redução de custos com outras atividades de medição já realizadas pelas distribuidoras. O sistema de monitoramento deverá registrar as interrupções de energia elétrica e aferir os indicadores DEC e FEC das distribuidoras, com precisão adequada, de acordo com análise de custo/benefício [ANEEL3, 2013].

Em Outubro de 2013, A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) propôs a criação do Sistema de Inteligência Analítica do Setor Elétrico (SIASE), com base no edital 18/2013. Um projeto que visa transparência das informações de interesse público de mercado, tarifas e receita das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica. O principal objetivo deste projeto é a criação de um sistema de informações, envolvendo os agentes do setor, especialmente as distribuidoras de energia elétrica, a ANEEL e instituições públicas que [ANEEL2, 2013]:

- Possibilite, para toda sociedade, a inteligibilidade da aplicação das tarifas;
- Crie uma base de dados consistente para a aplicação de técnicas de inteligência analítica e de mineração de dados.

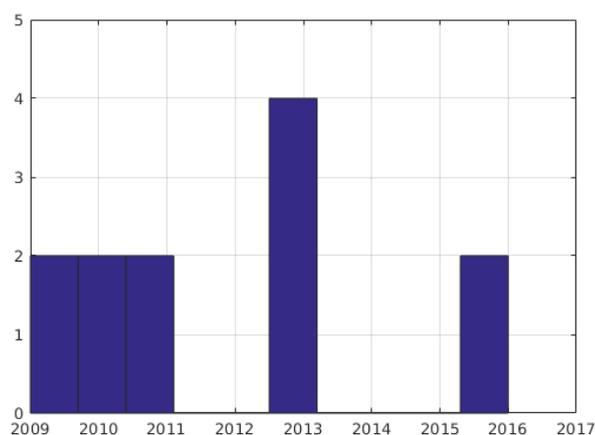
- O sistema deve adotar as políticas e os padrões de interoperabilidade de governo eletrônico definidas na arquitetura e-PING;

Em outubro de 2016, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), lançou a chamada pública nº 001/2016, designado Programa de eficiência energética e minigeração em instituições federais de ensino superior com o propósito de promover o uso eficiente e racional de energia elétrica, por meio de programas que evidencie e mostre a importância de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais da energia. O programa procura promover a cultura da inovação, estimulando a pesquisa e desenvolvimento no Setor Elétrico brasileiro, desenvolvendo novos equipamentos e melhorando a prestação de serviços que contribuam para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país [ANEEL, 2016].

Em novembro de 2016, o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e o Innovate UK lançaram um edital para projetos de pesquisa e desenvolvimento colaborativos entre empresas britânicas e brasileiras (Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Conjunto Brasil-Reino Unido), voltado para cidades conectadas, inovadoras e soluções de energia renovável. Este programa inclui três propostas de interesse: Integração e governança de sistemas de uma cidade; Infraestrutura urbana, mobilidade inteligente e acessível; Ambientes urbanos sustentáveis. Dentro destas áreas de desafio, as *Smart Grids* é uma das tecnologias que está inserida no programa [MDIC, 2016].

Para uma melhor visualização das quantidades de propostas (ou editais) lançadas de 2009 até 2017, a Figura 4.1 a seguir ilustra o histograma com a quantificação dos números de propostas e/ou editais por ano.

Figura 4.1 – Histograma das quantidades de propostas em *Smart Grid* até 2017.



Fonte: Autor.

4.3 – ESTADO DA ARTE

No cenário geral de *Smart Home*, vários HEMS foram propostos para reduzir os custos de consumo de energia. Essa redução é possível graças a uma nova característica exclusiva para monitorar e controlar ou mesmo adotar soluções de inteligência computacional para ajudar a otimizar o consumo.

Inúmeras investigações foram realizadas que envolvem a adoção de uma abordagem única para padronizar o sistema necessário para a medição inteligente de residências. Alguns são descritos em [Beaudin & Zareipour, 2015] e [Ahmed et al., 2015], e outros são semelhantes aos apresentados nesta tese. Um HEMS, que é capaz de gerenciar eletrodomésticos e iluminação (por exemplo, coletando dados de consumo), é descrito em [Han et al., 2014]. Existe uma interface com um dispositivo móvel que se comunica via Zigbee e comuta a distribuição de energia da empresa para painéis solares. Os modelos HEMS descritos em [Lee et al., 2014], [Gabriele et al., 2015] e empregados para monitorar e informar os usuários sobre as taxas de consumo residencial, por meio de aplicativos móveis, sistema de armazenamento WEB e sensores espalhados por todas as casas.

Algumas das soluções baseadas em inteligência computacional no domínio *Smart Home* são mencionadas. A lógica Fuzzy foi empregada para ajustar a temperatura ambiente por meio de sensores térmicos e os padrões foram

definidos com base em regras recomendadas pelos residentes para otimizar automaticamente a temperatura e assim economizar energia [Walek et al., 2014].

Da mesma forma, [Haghifam et al., 2013] usa lógica Fuzzy para decidir como agendar o uso de eletrodomésticos com base em custos estimados e conforto. Em [Keshtkar et al., 2015], o Fuzzy é usado para reduzir a demanda de energia residencial com base em diferentes parâmetros, como ocupação, temperatura externa, conforto térmico, horários ajustados e preferências no uso do sistema elétrico.

A lógica Fuzzy também é usada para uma consciência sensível ao contexto. Em [Patel & Champaneria, 2016], a inteligência Fuzzy mostra um grau de precisão de 95,14% e é 6,98 ms mais rápido do que outras arquiteturas.

O trabalho desenvolvido por [Souza, 2014], possui foco no controle de iluminação, o autor descreve o processo de desenvolvimento de um sistema embarcado baseado na lógica Fuzzy para controle do consumo de eletricidade e consequente redução do desperdício de energia com objetivos de natureza sustentável. A lógica Fuzzy permite a classificação de valores dentro de determinados conjuntos, considerando seu grau de pertinência a tais conjuntos. Neste trabalho, a iluminação foi classificada em muito escuro, meio escuro, normal, meio claro e muito claro. A leitura de iluminação ocorre através de um sensor LDR conectado a um Arduino que, por sua vez, atua em um ambiente de iluminação controlado, variando a luminosidade através da modulação PWM.

Outras soluções desse tipo são usadas para controlar e otimizar o consumo de energia. Um método adapta a Rede Bayesiana (BN) para controlar aparelhos de energia projetados para o conforto [Shoji et al., 2014]. Esta rede faz uma relação probabilística entre os estados do equipamento e o ambiente residencial.

Outras propostas, relevantes a esta tese de doutorado, foram desenvolvidas para as mais diversas áreas de aplicação do domínio de *Smart Home*:

Os autores [John & Santhosam, 2014], apresentam um modelo de *Smart Home* para gerenciar o consumo de energia em ambientes residenciais. O trabalho tem como objetivo a redução do consumo de energia, para isso, os

sensores de presença fazem as coletas de dados que serão usados para o aprendizado do dispositivo. O utilizador pode contar também com o auxílio de um controle remoto, que atuará no desligamento dos equipamentos via infravermelho.

Em [Gabriele et al., 2015], é demonstrada uma solução de baixo custo para gerenciamento dos equipamentos residenciais. A solução nomeada de EDDY foi desenvolvida para gerenciar os componentes domésticos espalhados em um raio de até 30 metros (sem obstrução), a comunicação entre o EDDY e os equipamentos é através do módulo WI-FI integrado ao seu circuito, junto a sensores (temperatura, umidade, corrente e tensão). O EDDY faz as coletas dos dados e em seguida são enviados a um servidor Web, e assim é disponibilizado ao usuário através de uma aplicação móvel que monitora e gerencia as atividades na residência. O aplicativo é composto por uma tela de login e outra responsável pelo gerenciamento do consumo com os seguintes dados: consumo atual do equipamento doméstico; status do equipamento; tempo decorrido (mostrado em gráfico); máximo consumo; nível do consumo diário.

Outro estudo relevante é proposto por [Ferdoush & Xinrong, 2014], que desenvolveram um sistema *Smart Home* de baixo custo e altamente escalável em número de sensores, estruturado a partir de um Raspberry PI como disponibilizador de serviço (Web Service), ele se comunica com um Arduino por meio de um módulo XBee transmitem as informações obtidas dos sensores ao cliente por uma interface Web. Seu objetivo é monitorar o ambiente e analisar os dados por meio de gráficos, referentes à temperatura e umidade.

O trabalho apresentado por [Tiwari et al., 2015], propõem um modelo para automação residencial baseado em comunicação por luz visível (VLC). O objetivo desse trabalho é a comunicação sem fio utilizando a VLC. Como a passagem da luz é confinada por paredes, a transmissão se torna mais segura. Essa tecnologia tem uma alta taxa de transferência comparada as RFs, por isso pode-se enviar uma maior quantidade de dados. A proposta é estruturada através de emissores e receptores de luz para o envio de dados. São usados LEDs para a transmissão e fotodetectores no recebimento desses dados. Os equipamentos devem ser

instalados no teto para proporcionar um melhor alcance aos dispositivos que serão conectados, além disso, para uma boa comunicação devem ser evitados obstáculos, exemplos: sombras ou até mesmo o translado do usuário no ambiente. A rede de sensores só poderá se comunicar no mesmo ambiente devido à luz não atravessar paredes ou outros obstáculos sólidos, assim a comunicação com usuário local ou remoto só poderá ser feita por meio da unidade de controle.

No trabalho de [Leitte et al., 2015], preocupou-se em desenvolver um sistema de baixo custo e de fácil uso que proporcione conforto e comodidade aos habitantes. O usuário pode controlar os equipamentos (lâmpada, tranca e motor) por meio de um aplicativo Android. Um Arduino associado à Shield Ethernet permite a comunicação com um roteador através da internet, e a partir disso, ocorre à troca de informações via WI-FI com o cliente móvel, utilizando fluxo de comunicação baseado em socket. O aplicativo faz o envio das requisições para o Arduino, onde os comandos são interpretados e convertidos em ações, como por exemplo, ligar e desligar os equipamentos. Além das ações mencionadas a pouco, o aplicativo pode controlar alguns equipamentos em tempo real, como variar a intensidade do brilho das lâmpadas.

O artigo de [Báez et al., 2010], descreve o desenvolvimento de um sistema capaz de controlar dispositivos de iluminação através do uso de um aplicativo celular. A rede é composta por um módulo mestre e dispositivos escravos conectados diretamente ou através de módulos roteadores. Executado em praticamente qualquer telefone móvel a aplicação permite que usuário defina os valores desejados de iluminação e o programa, por sua vez, realiza uma comunicação com a central através de interface bluetooth, em seguida, o comando é encaminhado aos dispositivos finais através da comunicação zigbee, escolhida principalmente pelo seu baixo consumo de energia. Nos dispositivos finais estão os controladores dimmer compostos por um sistema de detecção de zero e um TRIAC além de um microcontrolador 80C51, ao receber um comando o microcontrolador interpreta o valor de iluminação desejado e assim define o ângulo de disparo do TRIAC equivalente a este valor. Ao final do artigo os

autores sugerem a expansão do projeto para uma automação completa através de sensores e atuadores diversos.

Pesquisas como a desenvolvida por [Ching, 2010] estudam a eficiência de técnicas de dimerização em lâmpadas LED de alto brilho. Lâmpadas LED são dispositivos de iluminação com alta eficiência e durabilidade e por tratar-se de dispositivos de estado sólido apresentaram melhor resistência a choques e vibrações do que lâmpadas convencionais. As lâmpadas LED tipicamente operam com valores de 110/220V AC em suas entradas. Mas os diodos emissores de luz costumam operar na faixa de 20V DC, dessa forma, é fundamental que as lâmpadas apresentem reguladores para alcançar esta faixa de operação. Neste artigo, a dimerização é proposta através do uso de modulação PWM gerada por um microcontrolador de baixo custo, esta técnica é baseada no controle da largura de pulso do sinal e quando aplicada na corrente DC da lâmpada é possível alterar o brilho dos LEDs. Com o intuito de validar sua pesquisa, o autor desenvolveu um protótipo de fácil utilização, o qual, através de um botão alterna a iluminação em uma escala de 33% 66% e 100% da potência máxima.

No que diz respeito à aplicações de Smart Home com soluções de IoT, [Soliman et al., 2013] propôs uma solução baseada em Serviços Web (WS) e Cloud Computing. O estudo emprega sensores e atuadores para medir as variáveis ambientais e controlar alguns dos aparelhos residenciais usando conexões Zigbee. Todo o tráfego de dados coletado é persistido na nuvem, o que estabelece a interoperabilidade dos dispositivos de medição e, assim, garante que o cliente tenha acesso por meio de smartphone ou notebook.

Em [Patel et al., 2016], os autores projetam uma arquitetura que usa o conceito IoT para melhorar o sistema de monitoramento e gerenciamento da habitação residencial do usuário, através de acesso remoto e, ao mesmo tempo, proporcionando mais conforto e segurança. O usuário pode contar com uma aplicação web ou móvel com acesso a serviços na nuvem, que inclui um sistema heurístico para o *Smart Home*. Outra solução para o *Smart Home* é proposta em [Li et al., 2015], onde é definida uma estrutura de entrega de serviços, que depende do IoT para o gerenciamento do consumo de energia.

No trabalho descrito em [Chhabra, 2016], é desenvolvida uma solução para a gestão e otimização do consumo de energia elétrica e a melhoria da segurança das residências dos usuários com base no IoT. A solução inclui sensores de segurança (fogo e presença), módulo de relé para gerenciamento de dispositivos e um dispositivo central (conectado à Internet). A interação entre os dispositivos com o usuário é realizada através da Internet e uma aplicação móvel para a gestão das habitações residenciais.

Em [Patchava, 2015] propõem um aplicativo de *Smart Home*, baseado no conceito de Internet das Coisas, que usa aplicativos para acesso remoto via Internet. Esta solução está disponível tanto para celulares como para o laptop com acesso a um nó central. O aplicativo pode ativar ou desativar aparelhos domésticos e, ao mesmo tempo, gravar um vídeo capturado no modo de transmissão ao vivo do que acontece no ambiente.

No trabalho proposto em [Rashid & Han, 2016], é encontrado uma solução para o gerenciamento dos dispositivos em uma residência conectada a uma rede IoT, a partir de uma abordagem para reconhecer seis tipos de gestos (um punho com um, dois, três, quatro e cinco dedos) para gerenciar os dispositivos. A operação da solução é em tempo real, embora seja configurada em duas etapas: a primeira a obter a imagem binária; O segundo para reconhecer os gestos. Sua estrutura é baseada em ARM Cortex-A8 para processamento de dados e o Zigbee é usado para comunicação.

Em [Villa et al., 2011], os autores propõem o desenvolvimento de um dispositivo de medição, capaz de realizar medições e controle de consumo de energia em sistemas heterogêneos, utiliza como referências de interoperabilidade o AMI e em padrões de *middleware* orientados a objeto. A implementação do *middleware* é em CORBA, com possibilidade de ser reimplementado em ICE. O *middleware*, embarcado no dispositivo, provê interfaces especificadas conforme a solução de interoperabilidade escolhida, com funcionalidades de envio de mensagens, descoberta de outros elementos para estabelecer o processo de comunicação, além disso, sua estrutura física depende do cenário no qual será utilizado.

Diante da necessidade de realizar a interoperabilidade a nível de integração de protocolos, em [Kim & Kim, 2011] é proposto uma arquitetura denominada *Object-based Middleware for Home Network* – OHNet, proporcionando um ambiente no qual os usuários podem programar, de forma eficiente, o consumo doméstico de eletricidade, fora do horário de pico, utilizando informações como a quantidade de energia elétrica consumida por eletrodomésticos e energia elétrica produzida por geradores domésticos e armazenada em baterias. Finalmente, este *middleware* torna possível fornecer a interoperabilidade entre vários dispositivos e controlá-los por meio do Adaptador de Rede Virtual (VNA), que por sua vez, fornece abstração para vários protocolos. Esta arquitetura é composta pelas camadas de rede que proveem a interoperabilidade entre os dispositivos instalados, pela camada de biblioteca de funções, que contém as informações de cada dispositivo instalado, como por exemplo o estado de cada elemento (ligado/desligado), e a camada de aplicação, que fornece ao usuário uma interface de gerenciamento da ferramenta.

No trabalho descrito em [Stjepan et al., 2012], é apresentado uma análise da IEC 61850 relacionada aos requisitos de interoperabilidade especificados na norma e um estudo da possibilidade de utilização de *Web Services* como uma potencial plataforma que poderá realizar a comunicação e a integração entre elementos. A análise da aplicação de *middleware* para o padrão IEC 61850, toma com base o Perfil de Dispositivos para *Web Services* (sigla em inglês, DPWS). O DPWS suporta orientação a eventos e serviços, princípios essenciais que estão previstos como elementos integrantes da próxima geração de estruturas de automação para *Smart Grid*. Este trabalho ainda ressalta que a evolução desta análise poderá contribuir para um modelo *plug-and-play* para dispositivos elétricos inteligentes.

Os autores [Shaomina et al., 2012] elaboram um estudo e a especificação de um *middleware* para coleta de dados com base na IEC 61970 e na tecnologia RFID para *Smart Grid*. Para esta coleta de dados, são utilizados o gerenciamento avançado de ativos (sigla em inglês, AAM), de acordo com o modelo CIM (*Common Information Model*), normatizado pela própria IEC e uma rede sem fio. A função principal do AAM é a gestão, a avaliação da execução, a otimização e a

utilização de ativos elétricos. Em síntese, esta especificação consiste de 5 camadas independentes, com um determinado nível de acoplamento, sendo implementada via Web Services e linguagem C++. O estudo realizado injetou informações para leitura das tags RFID, avaliando o gerenciamento das mesmas, convertendo-as para o formato XML, especificado no modelo CIM, e injetando novamente a informação na rede, a fim de viabilizar a comunicação entre elementos.

Conforme [Zhou & Rodrigues, 2013], a próxima geração de *Smart Grid* será caracterizada por *middlewares* orientados a serviço, especificados de forma reutilizável, provendo uma comunicação confiável, levando à sustentabilidade e estabilidade de sistemas heterogêneos. Diante dessa abordagem, é proposto um *middleware* eficiente e integrado para serviços heterogêneos de *Smart Grid*, adotando também funcionalidades de QoS e QoE.

Em [Schinle et al., 2017] é proposto o desenvolvimento de um plugin para Android, baseado no conceito de uma arquitetura modular para desenvolvimento de soluções móveis no intuito de agilizar o processo de construção de aplicações de gerenciamento para *Smart Home* em dispositivos móveis.

Foi proposto [Chou et al., 2017] o desenvolvimento de um sistema para *Smart Home* baseado em tecnologia de fusão de múltiplos sensores e interface de monitoramento inteligente. Como funções principais incluem: i) controle remoto de entretenimento inteligente e eletrodomésticos; ii) posicionamento interno e gerenciamento inteligente de energia; iii) prevenção de incêndios domésticos. Além disso, uma interface de monitoramento inteligente é desenvolvida para o sistema, fornecendo a temperatura ambiente interna, concentração de CO, alarme ambiental e situação de eletrodomésticos. Como forma de gerenciamento da solução foram utilizados sinais de movimento humano e os resultados da classificação de gestos a partir de redes neurais.

No trabalho [Asadullah & Ullah, 2017] é proposto uma arquitetura voltada para a automação residencial que possibilita aos usuários acesso a no máximo dezoito equipamentos sendo esses sensores e eletrodomésticos. O hardware é

composto por um Arduino responsável pelo controle dos dados vindos dos diversos sensores e relés e também faz interface com o smartphone que possui um aplicativo android responsável pelo gerenciamento, toda a comunicação é realizada via Bluetooth. O sistema sugerido possui mais recursos que os sistemas convencionais de automação residencial, como um sensor ultra-sônico, usado para a detecção do nível da água e o sensor de umidade do solo é usado para o sistema automático de irrigação de plantas.

Os autores em [Taylor et al., 2017] criaram um protótipo (Sense Box) *Smart Home* de baixo custo que fornece uma grande variedade de funcionalidades - segurança, controle de dispositivos, controle de HVAC e monitoramento remoto através de diversos sensores espalhados pela residência. O protótipo tem como foco a interoperabilidade, e para isso utilizam um dispositivo PogoPlug que incorpora o kernel Linux 2.6 e possui 128MB de RAM e 128MB de memória flash, que tem entradas e módulos ethernet que possibilitam o gerenciamento residencial por meio de um Web Service construído com *framework* Klone (PHP).

No artigo [Huang & Zhang, 2017] é desenvolvido um método de manipulação para *Smart Homes* que faz uso de óculos inteligentes, tela de exibição e câmera, para capturar os gestos de controle do usuário e exibir as informações de eletrodomésticos inteligentes como por exemplo utilizar gestos para controlar o ar-condicionado e ativar e desativar a luz. O protótipo é composto por um smart glasses com possui conexões WiFi e Bluetooth e acopla uma câmera por onde os gestos são captados e em seguida são convertidos em ações nos equipamentos residenciais.

A Tabela 4.1 a seguir, relaciona os trabalhos referenciados neste capítulo, expondo as lacunas existentes, segundo a ótica do autor desta proposta, as quais servem de motivação para a elaboração desta tese de doutorado.

Tabela 4.1 - Síntese dos trabalhos pesquisados

Referências	Principais lacunas encontradas
[Villa et al., 2011]	Prioriza o desenvolvimento de um hardware com solução embarcada, desenvolvida em CORBA; Não especifica como a solução se adapta a ambientes de mudanças dinâmicas ou às normas

	utilizadas para gerenciamento da comunicação.
[Stjepan et al., 2012]	Definição de modelo conceitual, direcionando para uma única norma, a IEC 61850, propondo ser desenvolvido, exclusivamente, utilizando <i>Web Services</i> .
[Shaomina et al., 2012]	Esta proposta de desenvolvimento de <i>middleware</i> para gerenciamento do tráfego de dados dos consumidores, utiliza como base a IEC, porém fecha em uma única solução de interoperabilidade, <i>Web Service</i> .
[Zhou & Rodrigues, 2013]	Proposta de desenvolvimento de <i>middleware</i> baseado em orientação a serviços. Não faz comparativos com outras abordagens, nem especifica a utilização de normas para realização de testes da sua solução.
[Souza, 2014]	Sistema embarcado baseado na lógica Fuzzy para controle do consumo de eletricidade e conseqüente redução do desperdício de energia. Não apresenta uma solução completa em <i>Smart Home</i> ; A solução só aplicável em ambientes controlados e o hardware e o software precisariam ser adaptados para uso em sistemas de automação residencial.
[John & Santhosam, 2014]	Apresenta uma solução em <i>Smart Home</i> voltada a redução no consumo de energia. Não possui qualquer interface com o usuário e não exerce o controle da economia de energia.
[Gabriele et al., 2015] [Lee et al., 2014]	Solução de baixo custo para gerenciamento dos equipamentos residenciais. A integração com sensores de temperatura e umidade permitem um maior controle do ambiente, contudo a expansão da rede é limitada a cobertura da rede wi-fi, devido à falta de dispositivos roteadores.
[Ferdoush & Xinrong, 2014]	Sistema <i>Smart Home</i> de baixo custo. Porém, não é voltada a redução nos gastos de energia elétrica e nem realiza medições de consumo.
[Tiwari et al., 2015]	Automação residencial baseado em comunicação por luz visível (VLC). A tecnologia VLC pode apresentar taxas de transferência bem elevadas, destaca-se também em questões de segurança de informações, pois os dados da rede estarão confinados ao ambiente iluminado. Devido utilizar tecnologia VLC, há interferência ocasionada por objetos

	sólidos e áreas com penumbra, além disso, a solução não é voltada a redução nos gastos de energia elétrica e nem realiza medições de consumo.
[Leitte et al., 2015]	Sistema de baixo custo e de fácil utilização que proporciona conforto e comodidade aos habitantes, contudo não possui uma interface Web, o autor utiliza o socket como middleware, o que possui recursos limitados se comparado à Web Services e não realiza medições de consumo.
[Báez et al., 2010]	Sistema de controle em dispositivos de iluminação. A aplicação é desenvolvida em Java mobile, assim pode ser executada em praticamente qualquer celular, mesmo que não seja um smartphone. Não apresenta uma solução completa em <i>Smart Home</i> , implementando apenas o controle de dimerização de lâmpadas
[Ching, 2010]	Aborda técnicas de dimerização em lâmpadas LED. A modulação PWM pode ser obtida com Controladores de baixo custo e pode ser facilmente obtida. Atua diretamente na alimentação DC de diodos emissores de luz, na prática a modulação ocorre após a energia AC passar por reguladores que comumente não estão acessíveis em lâmpadas convencionais.
[Walek et al., 2014]	Utilização de lógica Fuzzy para ajuste de temperatura. Não leva em consideração o gerenciamento dos demais dispositivos domésticos e nem interface de gerenciamento Web.
[Haghifam et al., 2013] [Keshtkar et al., 2015] [Patel & Champaneria, 2016]	Aborda o uso da Lógica Fuzzy para agendamento de utilização de eletrodomésticos a partir de parametrização dos usuários. Não estabelece critérios inteligentes que visem a otimização do consumo de energia.
[Shoji et al., 2014]	Utiliza Redes Baysiana para otimizar o consumo de energia, contudo somente explora a partir de parâmetros de conforto de eletrodomésticos parametrizados pelo usuário, não considera qualquer intervenção/acionamento para assim reduzir o consumo de energia em outros aparelhos.
[Soliman et al., 2013]	Aplicação de serviços em nuvem para <i>Smart Home</i> , coletando dados ambientais de consumo de energia. Não especifica as formas que o usuário pode gerenciar os eletrodomésticos conectados.

[Patel et al., 2016] [Li et al., 2015]	Utilizam o mesmo serviço de IoT (computação em nuvem), para gerenciamento das variáveis ambientais internas a partir de aplicações WEB ou móveis, porém não estabelece o nível de atuação (gerenciamento) nos dispositivos conectados.
[Chhabra, 2016]	Este trabalho considera apenas o requisito de segurança residencial, a partir de transferência das imagens de circuitos de vigilância e sensores de movimento, sob um serviço em nuvem.
[Patchava, 2015]	Usa a mesma aplicação de [Patchava, 2015], porém agrega funcionalidades para ligar/desligar os eletrodomésticos. Contudo, não aplica qualquer estratégia de redução de consumo de energia, deixando esta dedução para o usuário residencial.
[Rashid & Han, 2016]	Utiliza uma rede de serviços IoT para gerenciamento de eletrodomésticos a partir de reconhecimento de sinais. Não estabelece critérios para otimização de consumo e interfaces de gerenciamento.
[Schinle et al., 2017]	Não estabelece as especificações para construção do hardware de monitoramento.
[Chou et al., 2017] [Huang & Zhang, 2017]	Apesar de aceitar e monitorar diversos sensores e equipamentos, não especifica formas de conectividade com a concessionária nem com outras aplicações de gerenciamento, somente gestos.
[Taylor et al., 2017]	Não especifica de forma clara como estabelecer a interoperabilidade entre os elementos de medição
[Asadullah & Ullah, 2017]	Utiliza reconhecimento de gestos para realizar o gerenciamento de eletrodomésticos a partir de utilização de óculos 3d, desta forma não especifica como desenvolver novas aplicações para gerenciamento e interoperabilidade entre os elementos.

A tabela 4.2 descreve um comparativo dos trabalhos referenciados neste capítulo, considerando-se algumas das principais características e funcionalidades da arquitetura SmartCoM.

Legenda: *x*: atende; *p*: atende parcialmente; *o*: não atende;

Tabela 4.2 – Comparativo das principais funcionalidades da arquitetura SmartCoM em relação aos trabalhos referenciados para *Smart Home*.

Referências	Principais Funcionalidades e Características da Arquitetura SmartCoM									
	Comunicação exclusiva para monitoramento	Presença de interface e políticas de comunicação externa (concessionária)	Flexibilidade para inclusão de novos módulos de gerenciamento	Interoperabilidade		Modular e escalável	Descrição de interface para integração de softwares de gerenciamento	Segurança	Possibilidade de inclusão de técnicas de inteligência computacional	Especificações claras para reprodução da proposta
				hardware e software externos	Web Services					
[Villa et al., 2011]	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Stjepan et al., 2012]	-	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Shaomina et al., 2012]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
[Zhou & Rodrigues, 2013]	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>p</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>x</i>
[Souza, 2014]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>p</i>
[John & Santhosam, 2014]	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>
[Gabriele et al., 2015]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Lee et al., 2014]	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Ferdoush & Xinrong, 2014]	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Tiwari et al., 2015]	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Leitte et al., 2015]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
[Báez et al., 2010]	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Ching, 2010]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Walek et al., 2014]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>p</i>
[Haghifam et al., 2013]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
[Keshtkar et al., 2015]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
[Patel & Champaneria, 2016]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
[Shoji et al., 2014]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
[Soliman et al., 2013]	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>x</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Patel et al., 2016]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Li et al., 2015]	<i>x</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Chhabra, 2016]	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Patchava, 2015]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Rashid & Han, 2016]	<i>x</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Schinle et al., 2017]	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
[Chou et al., 2017]	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
[Asadullah & Ullah, 2017]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
[Taylor et al., 2017]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
[Huang & Zhang, 2017]	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>p</i>
Indicador de não aderência (%)	51,72	86,20	75,86	68,96	68,96	82,76	48,28	96,55	75,86	13,79

A partir das comparações apresentadas em síntese na tabela 4.2 há o surgimento de certas lacunas, as quais foram elementos motivadores para a definição e especificação da arquitetura SmartCoM.

4.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo estudo dos trabalhos expostos neste capítulo, observa-se que há um conjunto de pesquisas sendo realizadas no sentido de especificar e avaliar a utilização de *middlewares*, para efetivar a interoperabilidade no nível de protocolos ou por meio de soluções de compartilhamento de informações. De certa forma, ainda existem poucos trabalhos publicados relacionados à interoperabilidade para *Smart Grid*, um dos motivos pode estar relacionado à falta de consolidação das normas de interoperabilidade para *Smart Grid*, influenciando na forma estrutural de desenvolvimento de soluções de *middleware*.

Por outro lado, as soluções de *middleware* para o domínio de *Smart Home*, por se tratarem de ambientes mais controlados, avançam de forma mais rápida, pois até o presente momento, são soluções com poucas funcionalidades e gerenciamento restrito de equipamentos domésticos, possibilitando um cenário de desenvolvimento de aplicações mais simples. O aumento de funcionalidades e estratégias de gerenciamento, inclusive com técnicas de inteligência computacional acabam agregando maior complexidade ao desenvolvimento e produção da solução, dito isto, a arquitetura SmartCoM engloba diversas possibilidades de agregação de funcionalidades de gerenciamento e monitoramento efetivo, além de adotar a possibilidade de inclusão de técnicas de IA, a fim de dirimir esta lacuna na área de desenvolvimento de soluções de *middleware* para *Smart Home*.

Esta proposta de tese aborda uma estratégia inédita para planejamento de soluções de interoperabilidade para *Smart Grids*, visando à garantia das especificidades existentes nas normas como: [IEC61850, 2005], [IEEE2030, 2011] e [NIST, 2014].

CAPÍTULO 5 – SmartCoM: UMA ARQUITETURA DE GERENCIAMENTO DE CONSUMO INTELIGENTE PARA *SMART HOME*

5.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O cenário de *Smart Home* consiste em um vasto número de elementos heterogêneos (sensores, atuadores, aplicações de gerenciamento, etc), que necessitam de um certo nível de interoperabilidade para que estes elementos consigam compartilhar dados e recursos de fato. Contudo, realizar integração destes inúmeros dispositivos não é uma tarefa trivial, devido por exemplo, a inexistência de interfaces nativas para estabelecer os parâmetros necessários para compartilhar dados.

Evidencia-se, então, a necessidade de estabelecerem-se critérios de interoperabilidade para integração destes elementos, por meio de uma arquitetura inovadora, denominada SmartCoM, capaz de orientar todo o processo de desenvolvimento de soluções fim a fim, a partir de um conjunto de regras e normas de desenvolvimento, e valida sua aplicação em cenários de *Smart Home*.

Desta forma, o SMartCoM tem como umas das características evitar o desenvolvimento prematuro de soluções de *middleware*, sem a investigação das especificidades do ambiente, descartando um possível “ponto de falha” neste processo.

Neste sentido, esta tese pretende discutir as especificações de uma arquitetura inovadora, fim-a-fim, para desenvolvimento de *middleware* em cenários de *Smart Home*, considerando um conjunto de estratégias de planejamento para desenvolvimento da solução.

5.2 – DEFINIÇÃO DO ESCOPO DA TESE

Como pode ser observado no modelo de referência do NIST (2014), há uma ampla variedade de redes de transmissão de dados que devem ser

implementadas para que a grande rede de informação do *Smart Grid* (e o próprio *Smart Grid*) se torne funcional. Porém, para que essas redes possam realizar a troca/compartilhamento de informações, é necessário o estabelecimento de um nível de interoperabilidade, seguindo as orientações definidas nas normas existentes. Contudo, ainda há um grande desafio quanto à harmonização das diversas normas para se chegar em um denominador comum quanto a soluções de interoperabilidade. De fato, cada norma é o reflexo das especificidades de cada ambiente, porém ajustes podem ser necessários para a realização desta integração de dispositivos do setor elétrico.

Esta tese de doutorado investiga o uso de soluções de interoperabilidade para *Smart Home*, definindo uma metodologia para aplicações de *middleware*, por meio da utilização de uma arquitetura para desenvolvimento de *middleware* para *Smart Home*, capaz de promover a integração do sistema de supervisão aos sistemas disponíveis ao consumidor, aliando as mais modernas soluções de TIC para compartilhamento e disponibilização de informações sobre a unidade residencial.

5.3 – DESIGN DA ARQUITETURA SMARTCOM

A arquitetura proposta oferece um modelo inovador de interoperabilidade para *Smart Home* com base em serviços IoT. Define a metodologia de um *middleware* baseado em REST e integra o sistema de supervisão da concessionária de energia (empresa) com os elementos de medição disponíveis para o consumidor. Também é responsável pelo controle de fontes de energia alternativas (geração distribuída), além de permitir a automação de eletrodomésticos, por meio de dispositivos inteligentes, e o controle de mensagens de consumo (por exemplo, regras para agendar atividades de rotina, consumo em tempo real, gerenciamento efetivo de eletrodomésticos, etc.).

O propósito da arquitetura SmartCoM é orientar e auxiliar no desenvolvimento de aplicações de interoperabilidade para o *Smart Home* de forma transparente, modular, flexível, escalável e confiável, respeitando as regras estabelecidas em [IEEE2030, 2011], que são as mais importantes soluções de interoperabilidade amplamente utilizadas no domínio *Smart Home*.

Conforme estabelecido no modelo de referência SGIRM [IEEE2030, 2011], a SmartCoM foi projetada para atender as três características deste modelo, sendo: a) sistema de energia; b) comunicação e; c) tecnologia da informação.

Da perspectiva do sistema de energia, refere-se à produção, entrega e consumo de energia elétrica, incluindo aparelhos, aplicações e conceitos operacionais, define ainda 7 domínios de comuns, dentre eles o Smart Home, sendo este o domínio de aplicação da arquitetura SmartCoM.

Com relação a comunicação, representa a conectividade entre sistemas, dispositivos e aplicações no contexto do Smart Grid (ou seus subdomínios). Esta característica inclui redes de comunicação, mídias, desempenho e protocolos. No que tange as definições da arquitetura SmartCoM, não há uma interface padrão de comunicação, esta somente será definida de acordo com a infraestrutura fornecida pela concessionária de energia.

A última característica, tecnologia da informação, estabelece o controle de processos e fluxo de gerenciamento de dados, inclui tecnologias que armazenam, processam, gerenciam e controlam o fluxo de dados de informações de modo seguro. Neste caso a SmartCoM foi projetada para ser uma solução fim-a-fim, atendendo aos requisitos propostas da SGIRM no que se refere ao gerenciamento e controle de dados incluindo funcionalidades de segurança da informação transmitida.

A arquitetura também estabelece os parâmetros necessários para fornecer serviços de gerenciamento em nuvem. Essa arquitetura deve ser genérica o suficiente para que soluções mais eficientes possam ser desenvolvidas ou mesmo ampliadas. Os detalhes das características desta arquitetura são os seguintes:

- **Transparência:** não há restrições quanto a localização do acesso, desde que exista uma conexão com a internet e permissão concedida aos usuários para gerenciar seus aparelhos monitorados, independentemente de sua localização geográfica;

- Modularidade: esta é uma arquitetura aberta. É possível ampliar outros módulos de gerenciamento (gerenciamento de iluminação, por exemplo), desde que o protocolo de comunicação seja mantido;
- Flexibilidade: a implementação (hardware e software) não se limita apenas aos padrões listados nesta tese. Obviamente, as soluções descritas são as mais frequentemente referidas na literatura publicada;
- Escalabilidade: é possível adicionar novos módulos, além de ampliar o gerenciamento de rede;
- Confiabilidade: o SmartCom incorpora um procedimento para autenticação e segurança de informações no nível de aplicação da rede interna, dentro dos padrões adotados neste documento;

A arquitetura não se preocupa apenas com resolver o problema de como os consumidores devem realizar seu gerenciamento residencial, mas também projeta um *middleware* fracamente acoplado com recursos de *publish-subscribe* para IoT. Isso permite que sejam encontradas diferentes soluções de interoperabilidade que possam dar suporte a diferentes tipos de *middleware*, não só para fins de serviços da concessionária, mas também para o cliente, de modo que a comunicação seja possível entre os sistemas através da troca de mensagens; portanto, a escalabilidade do sistema pode ser aumentada sem se restringir a uma única solução.

Quanto à camada de software, atualmente baseada em software livre, são estabelecidas as funcionalidades para controle e gerenciamento de todos os componentes pertencentes a arquitetura. Além disso, prioritariamente, são estabelecidas interfaces para controle e gerenciamento dos usuários residenciais e pela concessionária, tendo como principais funcionalidades especificadas:

- a) Coleta, transformação, armazenamento e visualização de dados a partir nos elementos de medição, realizado individualmente ou por meio de medidor inteligente acoplado no Quadro Geral de Energia;
- b) Acionamento de relés para desligamento do fornecimento de energia, tanto para os utensílios domésticos (funcionalidade exclusiva do

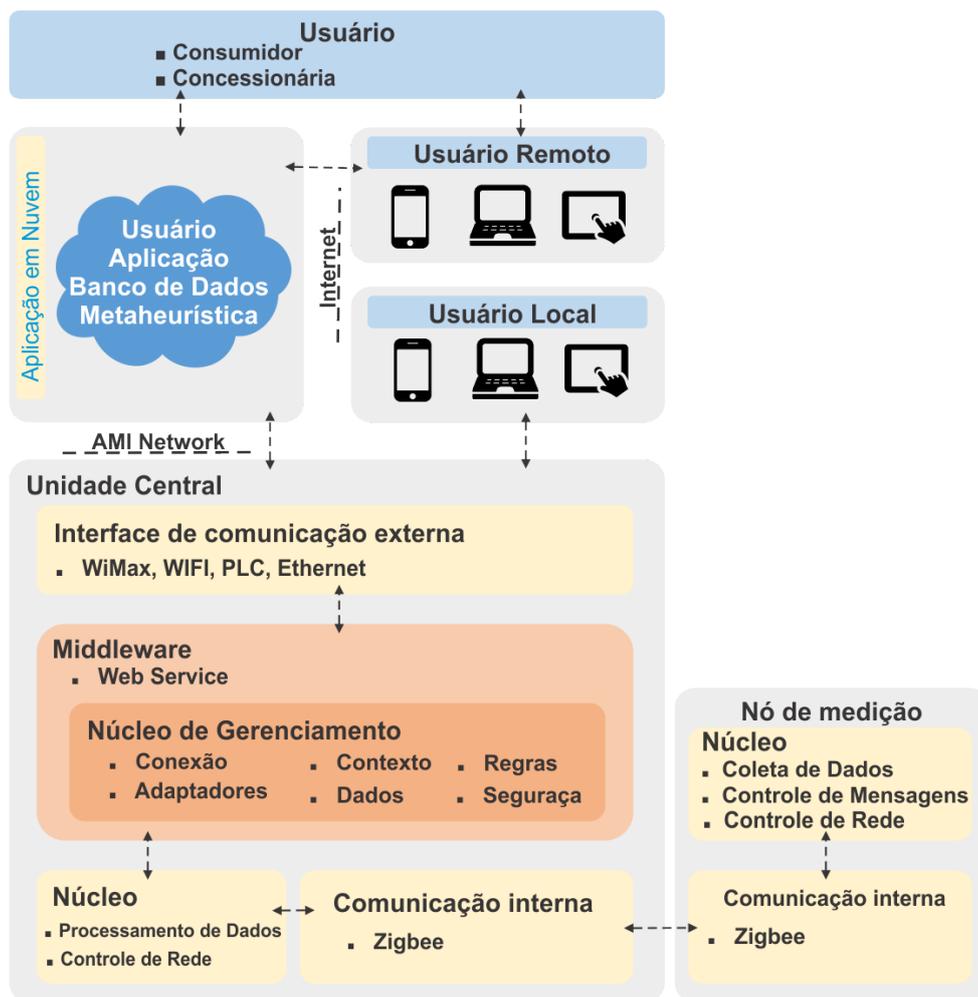
usuário residencial), quanto geral (funcionalidade para os usuários domésticos e concessionária);

- c) Monitoramento e gerenciamento do consumo de energia, tensão e corrente dos elementos monitorados;
- d) Especificação de parâmetros de qualidade de energia, conforme especificados no manual da ANEEL;
- e) Interfaces lógicas para integração com outras plataformas de gerenciamento e monitoramento do consumo de energia (via Web Services), por exemplo aplicações web, móveis e aplicações para Smart TV;
- f) Especificação de interfaces para integração com sistemas legados das empresas distribuidoras de energia, utilizando solução de fraco acoplamento baseada em Web Service;
- g) Coleta, atuação e otimização do consumo de energia relacionado a iluminação residencial;
- h) Inserção de regras para otimização do consumo de energia.

Além disso, são funcionalidades desejadas de monitoramento e gerenciamento residencial pela arquitetura:

- Segurança residencial: fornecer infraestrutura para visualização das imagens de vigilância, sensores de presença, acionamento de portas automáticas e dos sensores de alarme;
- Monitoramento do consumo de energia: além do controle do consumo de energia já discutido anteriormente, pretende-se ampliar esta funcionalidade para agregar controle mais efetivos em sistemas de iluminação residencial, com efeitos a redução do consumo de energia;
- Alternancia entre fontes de energia: a partir da presença de sistemas de energias renováveis, a arquitetura, considerando critérios estabelecidos pelos especialistas das áreas, podem escolher pela forma/caminho de alimentação residencial, substituindo, por exemplo, a energia comercial pela de sistemas de painéis solares.

Figura 5.2 – Diagrama da Arquitetura Smart CoM



Fonte: Autor.

A Figura 5.2 fornece uma definição de alguns dos componentes, que são essenciais para a reprodução e implementação da arquitetura. Todos os componentes de software e hardware foram definidos para serem interoperáveis e para cumprir padrões abertos, que podem ser adaptados a recursos específicos de um determinado cenário, protocolos de comunicação compatíveis com REST e internos (WI-Fi, *Bluetooth*, etc.), interfaces de comunicação externas (infraestrutura of the power utility). Assim, tanto os componentes de hardware e software podem ser personalizados para usuários, fabricantes e utilitários, pois incluem os recursos de interoperabilidade e adotaram padrões abertos ao elaborar a arquitetura.

Os componentes gerais como: nuvem (do inglês, *cloud*), aplicações locais, a unidade central e o nó de medição, serão definidas com mais detalhes na próxima seção.

5.3.1 – NUVEM E APLICAÇÕES LOCAIS

As camadas de aplicações em nuvem e locais fornecem mecanismos para monitorar e gerenciar elementos de acordo com o SmartCoM. Esses aplicativos devem ser independentes da plataforma e compatíveis com os serviços REST.

A camada de nuvem centraliza os serviços essenciais de acesso e o monitoramento remoto dos elementos conectados, desde que ofereça um meio de fornecer informações de qualquer dispositivo conectado à internet. Esta camada especifica e armazena os serviços de banco de dados que são responsáveis por persistir todos os dados de medição transferidos pelas unidades centrais. Além disso, deve fornecer aplicativos de gerenciamento de eletrodomésticos monitorados e serve como mediador em demandas de gerenciamento remoto.

Esta camada também especifica o serviço metaheurístico (técnicas de inteligência computacional), para fornecer um método de classificação eficiente baseado no consumo de energia e sua respectiva gestão, análise e estabelecimento de regras para otimização, que podem ser aplicadas ao equipamento de medição de cada usuário.

As aplicações locais e remotas são responsáveis pelo gerenciamento dos aparelhos monitorados, por meio de requisições REST, sendo capazes de estabelecer um controle completo dos serviços disponíveis, com base no perfil de acesso do usuário.

5.3.2 – UNIDADE CENTRAL E NÓS DE MEDIÇÃO

Para unidade central e nós de medição, elementos com as interfaces de comunicação são fornecidos para satisfazer os recursos de comunicação especificados na arquitetura. A integridade é mantida estabelecendo um canal de comunicação dedicado para os elementos de medição evitando a perda e concorrência de informações, pela utilização da rede para outros serviços que

não sejam o de monitoramento. A interface de comunicação IEEE 802.15.4/Zigbee é empregada para fins de comunicação interna. Este é um protocolo de rede sem fio para sensores e redes de baixa taxa, que é amplamente utilizado para construir redes de automação, como segurança doméstica, controle industrial e aplicações militares [Han et al., 2014]. Além disso, tem a vantagem de poder economizar o consumo de energia durante uma comunicação, pois fornece funcionalidades de “adormecer” quando não está em funcionamento.

No que diz respeito à questão de alinhamento com o padrão já recomendado pelo *Smart Grid*, há uma separação entre a rede interna (através da qual o usuário final solicita um serviço e pode usar padrões abertos como Wi-Fi, Ethernet e WiMAX) e a rede que efetivamente fornece o serviço solicitado (no nosso caso, a concessionária) com padrões fechados e potencialmente menos vulnerabilidade, por exemplo, PLC e 4G. No caso da unidade central em particular, a presença de interfaces de comunicação de dados para o ambiente externo (a Internet), pode ajudar os usuários a lidar com os dados. Isso é descrito na arquitetura como a Interface de comunicação externa.

Ambas as tecnologias de acesso à rede devem ser transparentes e sujeitas a aplicações de supervisão e monitoramento. A comunicação é o fator chave para fornecer acesso a dados em domínios heterogêneos, incluindo o estabelecimento de acesso em tempo real e em qualquer lugar, assim desempenha um papel importante para tornar esta arquitetura funcional.

A arquitetura SmartCoM define alguns níveis de gerenciamento como conexão, adaptador, contexto, dados, regras e segurança, cada nível foi projetado para atendimento de demandas (funcionalidades) específicas para atender a todos os serviços de gerenciamento e controle da solução.

O gerenciamento de conexão controla a comunicação entre o supervisor (unidade central) e várias conexões de dispositivos de medição instalados no lado do consumidor (nós de medição). Para tanto, faz-se necessária a utilização de adaptadores (gerência de adaptadores), para efetivar a comunicação entre *middleware*, visto que esta proposta especifica uma interface de comunicação

baseada em WS. Além disso, o gerenciamento de conexões pode antecipar o tráfego e, assim, permitir priorizar as mensagens do supervisor, quando necessário, como quando são urgentemente exigidas pelo sistema de supervisão da utilidade.

O gerenciamento de contexto desempenha um papel no gerenciamento das variáveis de ambiente da arquitetura e inclui o seguinte: portas de comunicação, classes de prioridade de mensagem para controle e supervisão, regras em criptografia, etc. Para um controle mais efetivo e transparente, é necessário identificar cada dispositivo monitorado pelo nó de medição.

Cada aparelho registrado no sistema deve ter seu código de identificação e seu tipo, se for essencial, no que tange ao acionamento via sistema de monitoramento. O campo **código de identificação** tem a função de registrar de forma automatizada um número identificador (endereço MAC) para cada utensílio monitorado, o campo **tipo** definirá qual o tipo de equipamento estará sendo registrado e o campo **criticidade** terá um valor de 0 ou 1, onde 0 é definido como altamente crítico, ou seja, o equipamento monitorado não deverá sofrer acionamento do nó central para desligamento manual ou programado, enquanto que para o valor 1, o equipamento poderá sofrer acionamento do nó central mais vezes. Este campo tem papel fundamental na composição das regras e na definição de estratégias (políticas) de otimização do consumo de energia residencial, além de fornecer uma visão mais clara do padrão de consumo de cada equipamento.

O gerenciamento de meta-heurísticas é necessário para a implementação de técnicas de inteligência computacional. E a partir da escolha da técnica será responsável por extrair padrões de consumo ou criar um conjunto de regras de otimização que podem ser aplicadas em dispositivos inteligentes. Esta arquitetura discutirá com mais detalhes no capítulo de Estudo de Caso a validação desta camada, a partir da especificação e teste da lógica Fuzzy para controle do consumo de energia.

O gerenciamento de dados armazena e manipula os dados (local e remoto), que é obtido a partir de dispositivos de medição, variáveis de ambiente e banco

de dados remoto (na nuvem). No futuro, eles também servirão para armazenar regras baseadas em metaheurísticas (ou seja, gerenciamento de regras). Esta camada deve existir tanto para o supervisor como para o consumidor, uma vez que não há obrigação por parte dos fabricantes de fornecer interfaces para armazenar e gerenciar regras criadas.

Um sistema de gerenciamento de segurança, da perspectiva da aplicação, é responsável por estabelecer critérios de segurança para autenticação, transações, recuperação de falhas, criptografia e acesso aos serviços implementados na plataforma. Como esta arquitetura prevê o uso de serviços web baseados em REST, o uso de tecnologias de segurança para garantir a confiabilidade de informações e acesso é fortemente recomendado, por exemplo, o framework OAuth2. Além disso, esta camada não lida com questões como aquelas relacionadas ao exterior ou a rede de telecomunicações entre a concessionária de fornecimento e o usuário final. No entanto, este documento pressupõe que os requisitos de segurança serão atendidos pela rede, que é disponibilizada pela concessionária. A literatura especializada mostra várias maneiras de implementar a rede de telecomunicações para este objetivo, por exemplo, conforme discutido em [IEEE2030, 2011].

A camada de *middleware* geralmente fornece uma visão de todos os seus componentes e pode ser usada, por exemplo, para produzir mensagens de controle, como desligar remotamente, e também para ajuste de consumo, alternando entre fontes de energia, armazenando variáveis do ambiente interno e externo. Além disso, é responsável por estabelecer comunicação com serviços de gerenciamento de nuvem. Este é um módulo independente, que está sob a supervisão da concessionária, uma vez que a concessionária usa ferramentas proprietárias, sem qualquer interface, para facilitar sua integração com outras novas aplicações. No entanto, a camada permite que a gestão seja realizada pelo cliente e pelo supervisor por meio de soluções baseadas em REST.

O nó de medição é responsável por capturar todas as medições dos utensílios monitorados (aquisição de dados), gerenciando as mensagens de atuação e

controle (controle de mensagens) e manipulando os dados enviados e recebidos pela rede (controle de rede).

5.4 – SMARTCOM: MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

A partir dos conceitos e especificações descritas, esta seção tratará dos aspectos de modelagem dos módulos físicos (hardware) e lógicos (software), para efeito de validação da arquitetura SmartCoM.

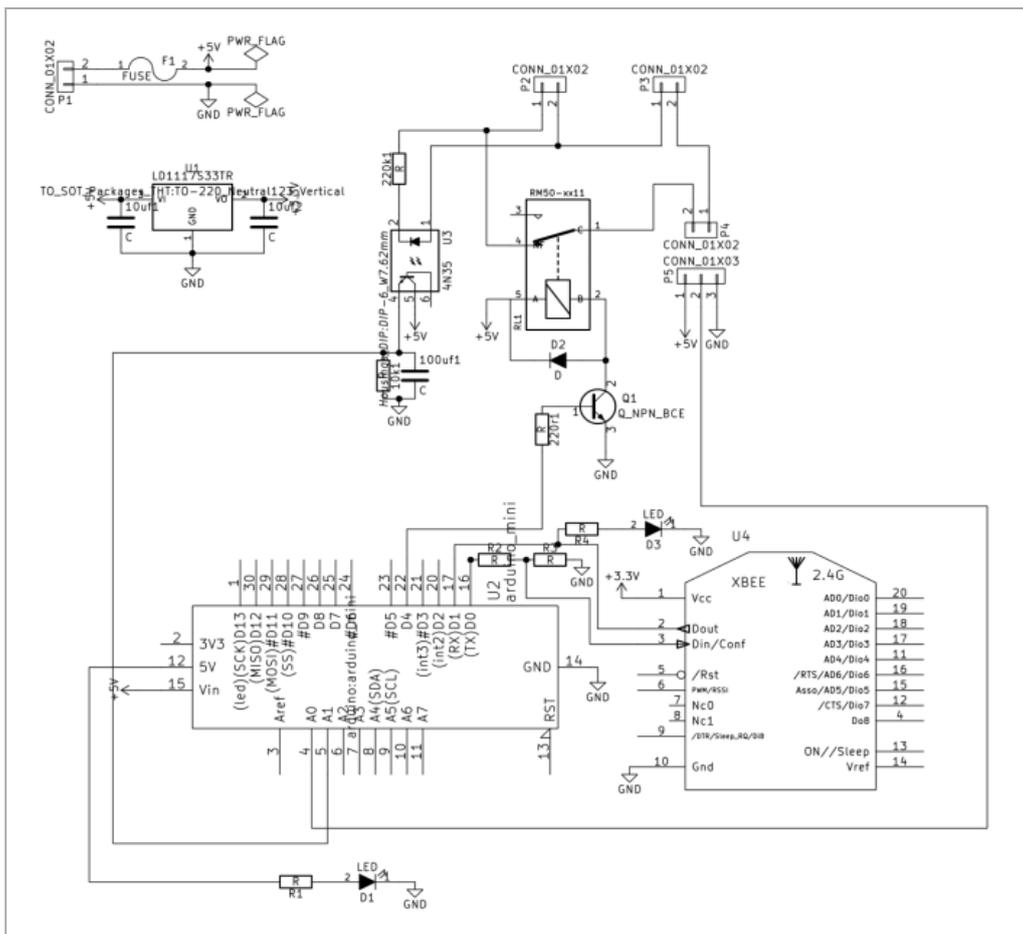
5.4.1 – DESIGN DO HARDWARE

Além de todos os recursos mencionados anteriormente, o hardware do nó central deve ser capaz de acomodar a instalação dos aplicativos (tanto o *middleware* quanto outro software necessário para armazenar os dados) e também gerenciar e monitorar os nós de medição. Conforme os requisitos dos usuários finais.

Um nó de medição coleta dados dos sensores e transmite-os para o nó central através da rede Zigbee. Ele não apenas ativa a unidade de coleta, mas também interrompe aparelhos domésticos (ou seja, a energia on / off). O cenário ideal para um monitoramento efetivo da residência é que cada aparelho deve ter um nó de medição conectado a ele.

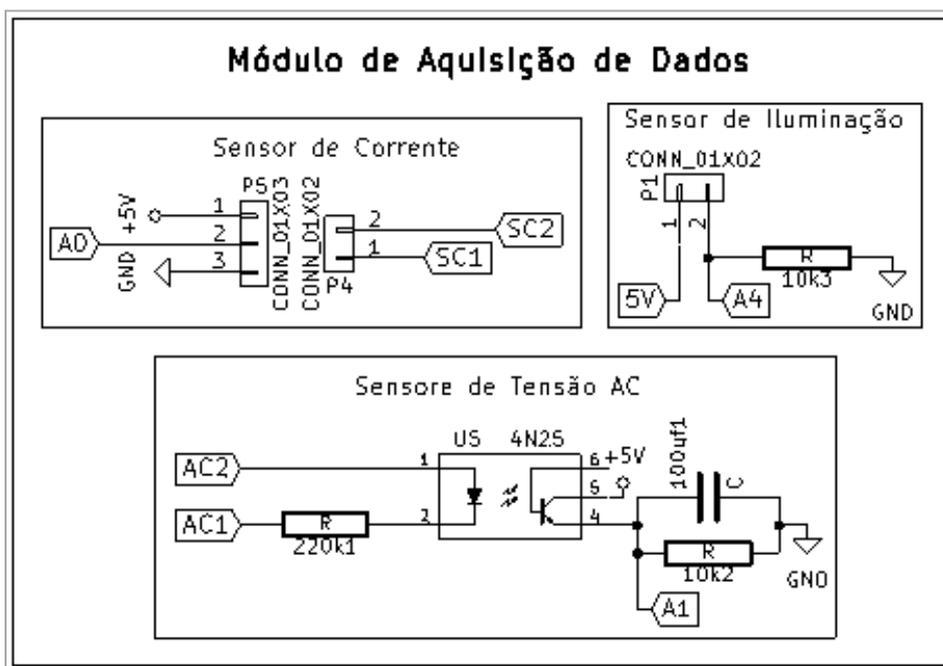
O nó central também desempenha um papel fundamental no monitoramento e gerenciamento de cada utensílio conectado, coletando dados sobre fatores como corrente, tensão, energia do consumidor, data e hora da medição. Todos os dados são encapsulados na *payload* Zigbee e reencaminhados para a unidade central. Suas especificações são ilustradas nas Figura 5.3 e 5.4.

Figura 5.3 – Diagrama estrutural do nó de medição



Fonte: Autor.

Figura 5.4 – Diagrama estrutural do nó de medição para iluminação residencial.

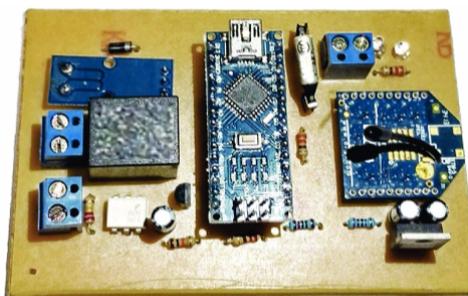


Fonte: Autor.

Conforme mostrado na Figura 5.3, o nó de medição é iniciado fornecendo tensão de 5v para todo o circuito. Depois disso, o sensor *Hall Effect* e o sensor de tensão são usados para ler o medidor e reencaminhar os dados para o microcontrolador. Os dados são empacotados e enviados via Zigbee para o nó central. Da mesma forma, o nó central pode enviar uma mensagem (de ativação ou desativação) ao dispositivo final que pode ou não ativar uma retransmissão no aparelho conectado. A figura 5.4 apresenta uma ampliação para desenvolvimento da solução de hardware ampliando as funcionalidades da arquitetura para gerenciamento da iluminação residencial.

A Figura 5.5 ilustra o protótipo do nó de medição com base nas especificações descritas anteriormente.

Figura 5.5 – Protótipo do nó de medição

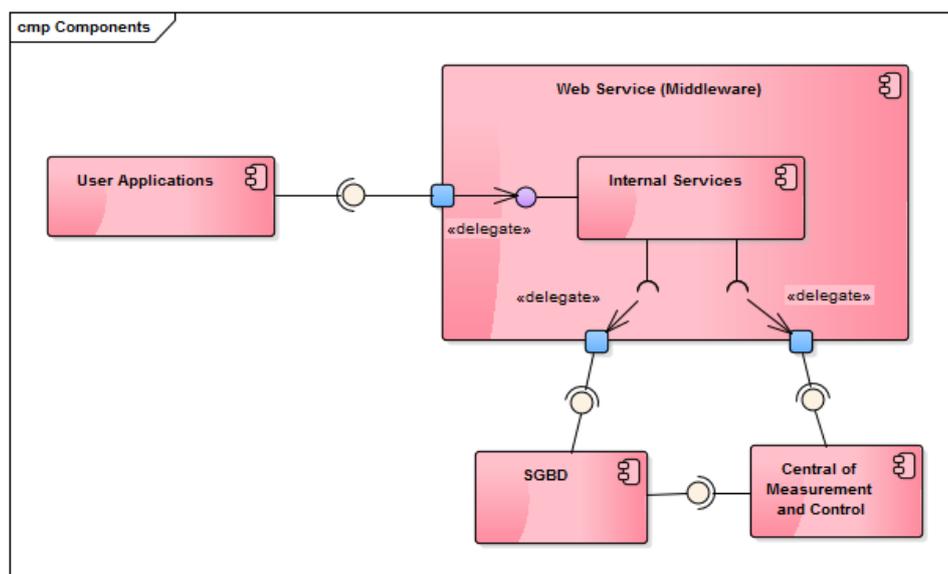


Fonte: Autor.

5.4.2 - DESIGN DO SOFTWARE

O objetivo deste trabalho é habilitar os recursos de interoperabilidade da *Smart Home*. Por esta razão, uma camada de serviço foi implementada com base no serviço REST, que permite a interoperabilidade entre a solução de medição e outros aplicativos de gerenciamento externo. Em geral, esses aplicativos externos devem ser compatíveis com a tecnologia WS adotada nesta tese. A Figura 5.6 ilustra os componentes da solução de *middleware*.

Figura 5.6 – Diagrama dos componentes da camada de serviço (*middleware*).



Fonte: Autor.

A integração usa o REST, como *middleware*, e inclui os recursos das tecnologias acima mencionadas, principalmente no que se refere a interoperabilidade com sistemas da concessionária via soluções IoT e aplicativos básicos para gerenciamento e controle dos eletrodomésticos. Este *middleware* possui uma interface para comunicar aplicativos de usuários finais (sistemas de consumo e utilidade), juntamente com equipamentos de medição residencial. Além disso, ao usar este recurso, é possível realizar várias atividades de gerenciamento e controle, por exemplo, para consultar os dados de medição armazenados pelo nó central em um banco de dados e parametrizar a transferência de dados de medição para o sistema de supervisão da concessionária.

A tabela 5.1 descreve as funcionalidades implementadas no WS:

Tabela 5.1 – Funcionalidades do Web Service REST

MÉTODO DO WS	
ENTRADA	SAÍDA
login()	
<ul style="list-style-type: none"> • Nome; • Senha. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falso; • Verdadeiro.
InsertEquipment()	
<ul style="list-style-type: none"> • Endereço mac do dispositivo; • Prioridade (alta, média, baixa); 	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmação de sucesso ou insucesso.

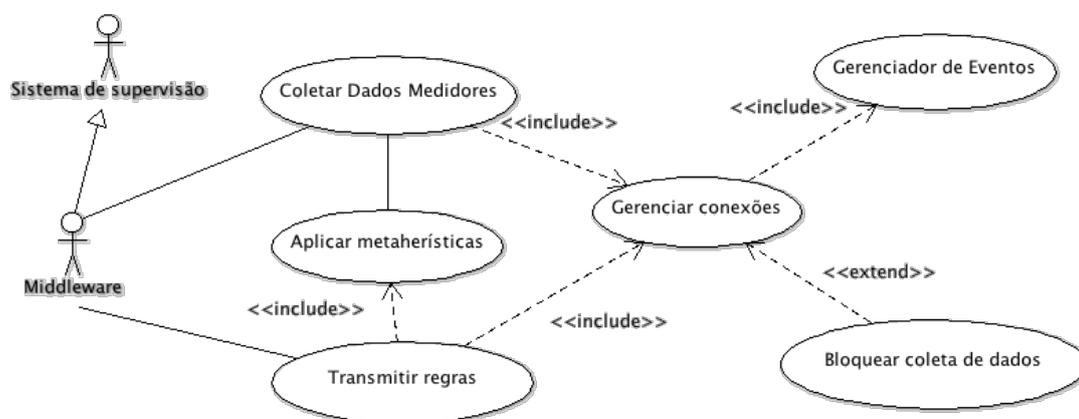
<ul style="list-style-type: none"> Tipo de dispositivo. 	
editEquipment()	
<ul style="list-style-type: none"> Endereço mac do dispositivo; Prioridade (alta, média, baixa); Tipo de dispositivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Confirmação de sucesso ou insucesso.
removeEquipment()	
<ul style="list-style-type: none"> endereço mac do dispositivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Confirmação de sucesso ou insucesso;
getEquipment()	
	<ul style="list-style-type: none"> Lista com todos os equipamentos e seus atributos (mac_node; descrição, prioridade, status) conectados ao nó central, em formato JSON Object.
getConsultEquipmentToMac()	
<ul style="list-style-type: none"> Endereço mac do dispositivo. 	<ul style="list-style-type: none"> JSON Object com os atributos (mac_node; descrição, prioridade, status) do equipamento.
getAppliances()	
	<ul style="list-style-type: none"> Nome de todas as aplicações disponíveis
status()	
<ul style="list-style-type: none"> Endereço mac do dispositivo; Status(on/off). 	<ul style="list-style-type: none"> Confirmação de sucesso ou insucesso.
getVoltage()	
<ul style="list-style-type: none"> Endereço mac do dispositivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Valor da tensão.
agenda_inicio()	
<ul style="list-style-type: none"> Início para ligar equipamento; Endereço mac do dispositivo. 	
agenda_fim()	
<ul style="list-style-type: none"> Início para desligar equipamento; Endereço mac do dispositivo. 	
calculeKWS()	
<ul style="list-style-type: none"> Tensão; Corrente. 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia formato Quilo watt-segundo.
convertKWSToKwh()	
<ul style="list-style-type: none"> Potencia formato Quilo watt-segundo. 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia formato Quilowatt-hora.
getIllumination()	
<ul style="list-style-type: none"> Endereço mac do dispositivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Valor da Iluminação (LDR)
getLux()	

• Endereço mac do dispositivo.	• Valor da Iluminação (<i>Smartphone</i>)
convertLuxToDimming()	
• Valor da Iluminação (<i>Smartphone</i>)	• Valor a ser aplicado na variável <i>dimming</i>

No entanto, algumas funções serão limitadas ao tipo de usuário para garantir a segurança e o controle individual e restrito de cada aparelho monitorado pelo residente. Por exemplo, a concessionária, a priori, não está autorizada a desligar os aparelhos monitorados pela solução. Esta é apenas a tarefa do residente. Por outro lado, a concessionária pode interromper a energia manualmente, uma prática que é usada atualmente.

A Figura 5.7 ilustra, em uma visão macro, a especificação das principais funcionalidades para construção da plataforma de gerenciamento interoperável para *Smart Home*.

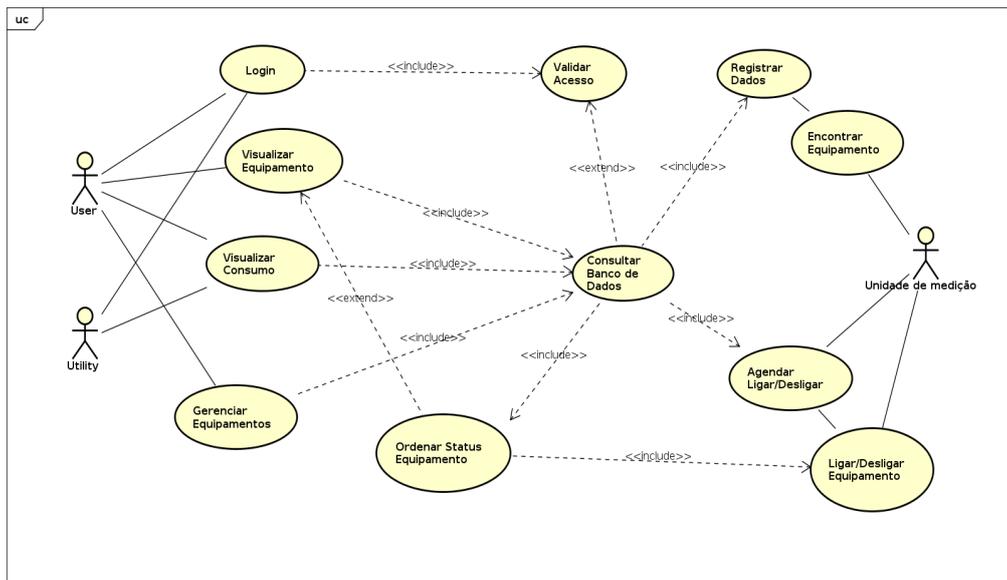
Figura 5.7 – Diagrama de caso de uso macro do *middleware*.



Fonte: Autor.

A Figura 5.8 apresenta o diagrama de caso de uso das funcionalidades previstas para a camada de serviço, bem como sua associação aos possíveis usuários do sistema.

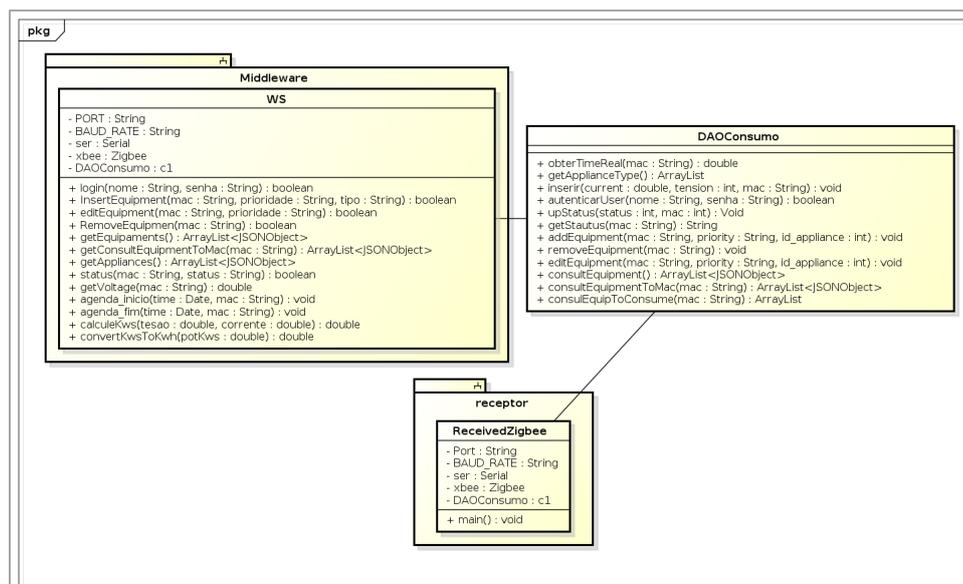
Figura 5.8 - Diagrama de caso de uso das funcionalidades do WS.



Fonte: Autor.

A Figura 5.9 ilustra o diagrama de classe do servidor, onde a classe WS é responsável por disponibilizar os serviços RESTful aos clientes e classe receptor é responsável por coletar os dados provenientes do nó de monitoramento. A classe *DAOConsumo* é responsável por fazer as operações de ler, escrever, atualizar e deletar informações na base de dados.

Figura 5.9 - Diagrama classe do Web Service.

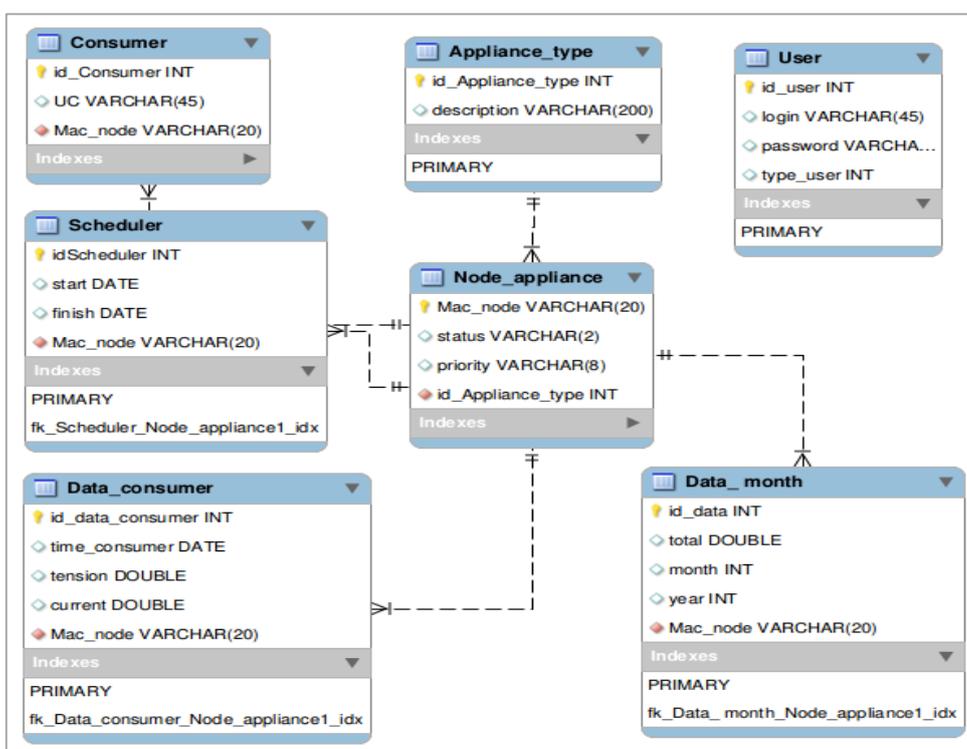


Fonte: Autor.

O modelo de entidade relacional do banco de dados é representado pela Figura 5.10. Nesse modelo, pode-se perceber a tabela *Node_appliance*, local de armazenamento do diversos nós de monitoramento, que também está associado à tabela *consumer*, responsável por armazenar os dados da unidade central e a tabela *Appliance_type*, definida pelos tipos de utensílios domésticos disponíveis.

Para armazenamento dos dados coletados pelo nó de monitoramento, são utilizadas as tabelas *Data_consumer* e *Data_month*. A primeira é responsável por armazenar os dados coletados pelo UC sem restrições, a segunda tem por objetivo guardar a soma dos dados coletados no período de um mês.

Figura 5.10 – Diagrama Entidade relacionamento.

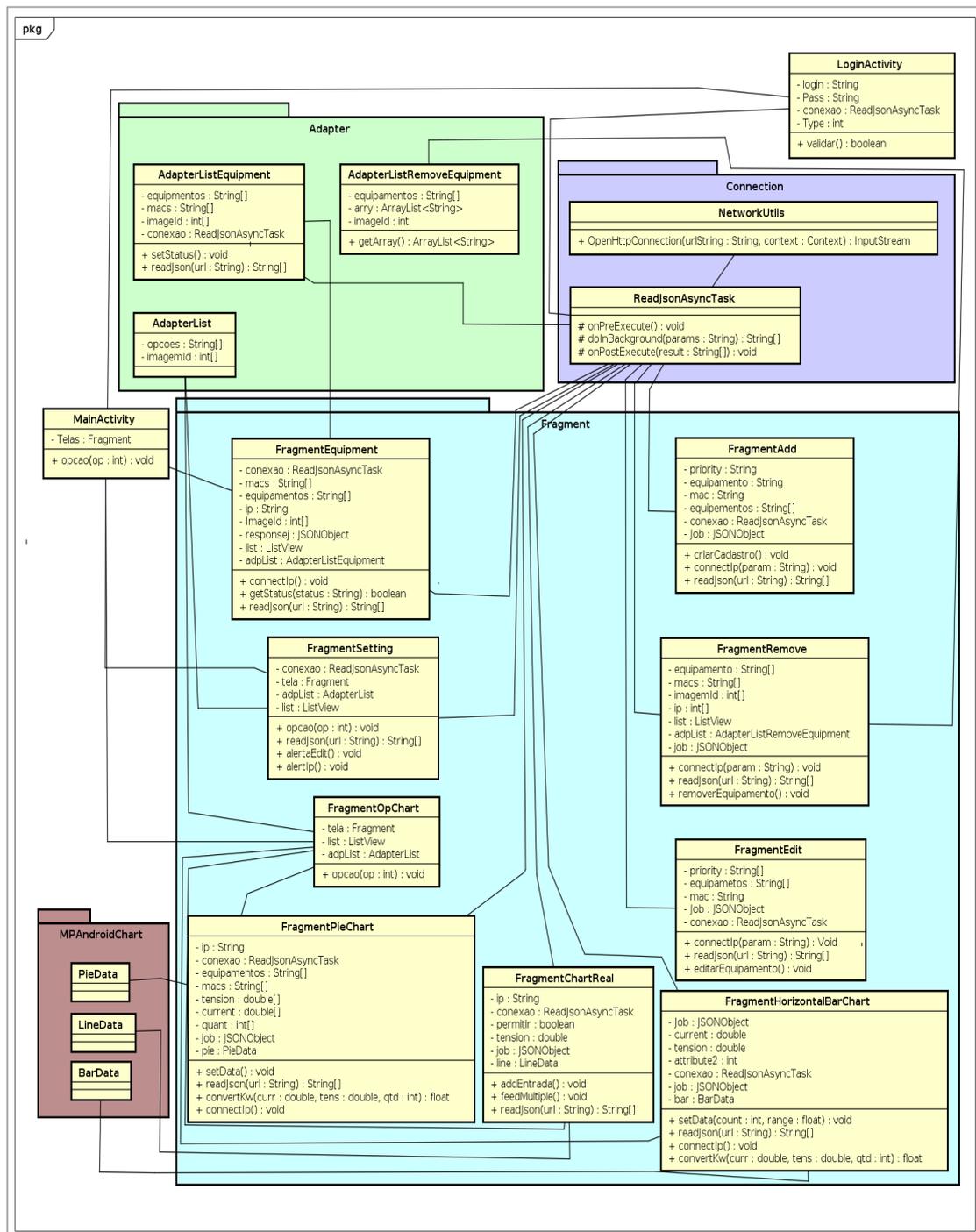


Fonte: Autor.

Como forma de especificar a solução fim-a-fim, é detalhado pela Figura 5.11 (diagrama de classe Cliente) - um exemplo de solução móvel a ser integrada na arquitetura SmartCoM, para efeito de gerenciamento de monitoramento dos equipamentos, onde a maioria das classes do pacote *Fragments*, *LoginActivity* faz instância da classe *ReadJsonAsyncTask* do pacote *Connection*, que é responsável pelo consumo do serviço RESTful. O Cliente informa para classe o IP e Porta para conexão com o servidor instalado na unidade consumidora. As classes do pacote

Fragments são responsáveis pela criação dos layouts do sistema como: visualizar gráfico, configurações, ligar e desligar equipamento e etc. A classe *LoginActivity* é responsável por criar layout que autentica o usuário no servidor.

Figura 5.11 - Diagrama de classe do aplicativo móvel.



Fonte: Autor.

5.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a proposta e especificação de uma arquitetura inovadora denominada SmartCoM, definindo com detalhes as funcionalidades desejadas da solução, estabelecendo o layout físico (hardware) e lógico (software) para futura implementação.

Ainda é possível, a partir das funcionalidades especificadas, realizar customizações, de acordo com a especificidade do cenário, visando a uma adaptabilidade e confiabilidade da implantação de SmartCoM. Além disso, podem existir funcionalidades ainda não especificadas para integrar de fato a solução com as infraestruturas da concessionária; contudo, como esta arquitetura tem características flexíveis e modulares, é possível a ampliação ou mudança na sua estrutura física.

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

6.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta os testes e validação da arquitetura SmartCom, desde a conectividade física entre seus componentes e a rede, validação das funcionalidades lógicas para realização de comandos remotos, por meio de aplicações para gerenciamento e monitoramento pelo usuário e a utilização de Lógica Fuzzy para redução de consumo residencial.

Inicialmente serão mostrados os resultados da implementação da arquitetura SmartCoM, os elementos de hardware e software utilizados, a implementação das soluções Web e móvel e os testes de medição realizados.

Em seguida, a partir da ampliação possível pelas características da arquitetura, será apresentada uma versão para monitoramento do consumo de energia em iluminação, seus resultados de medição e aplicações de monitoramento.

Finalmente, os testes utilizando a lógica Fuzzy no protótipo desenvolvido serão apresentados, assim como a adição de possibilidades (perfis) para redução de consumo de energia a partir de decisões tomadas tendo como base a saída das heurísticas Fuzzy.

6.2 – MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA E ACIONAMENTO VIA SOLUÇÃO WEB E DISPOSITIVO MÓVEL

O desenvolvimento da arquitetura SmartCOM foi iniciado com o trabalho desenvolvido por [Andrade et al., 2017], a partir da especificação definida nesta tese.

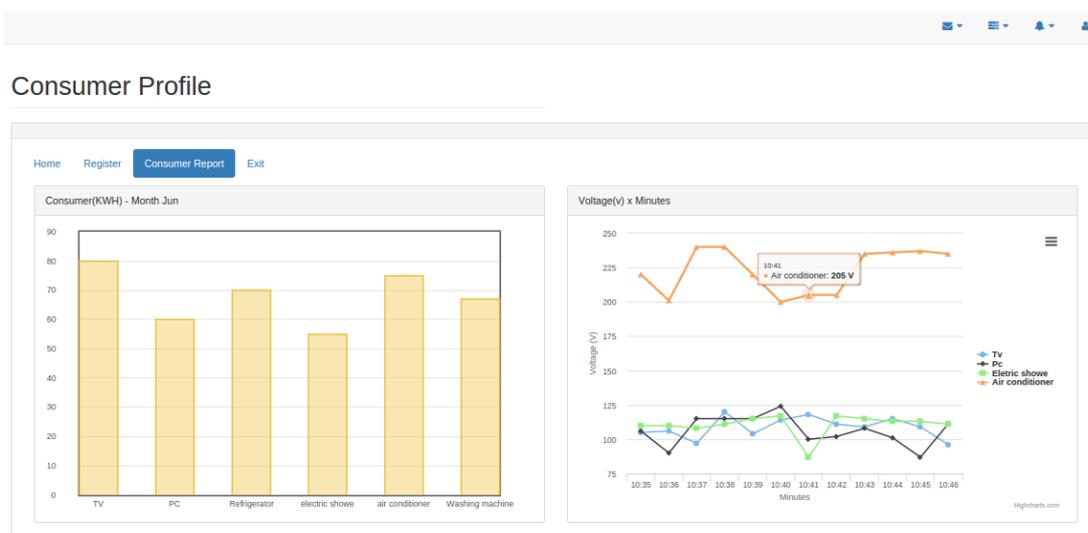
O experimento apresentado neste capítulo tem como finalidade a validação da arquitetura, de forma geral, e do desenvolvimento do protótipo do nó de monitoramento baseado no circuito ilustrado anteriormente na Figura 5.3.

A implementação da versão de teste utiliza como módulo controlador o Arduino NANO e o sensor de corrente, os quais foram acoplados na placa de

circuito. Como características de conectividade de energia, o protótipo tem duas entradas e uma saída que serão detalhadas a seguir: (i) saída da tensão 110V ou 220V para um equipamento conectado; (ii) entrada da tensão 110V ou 220V a ser conectado na rede residencial; (iii) entrada de alimentação 5v do circuito. Considera-se que esta placa atenderá um eletrodoméstico por vez.

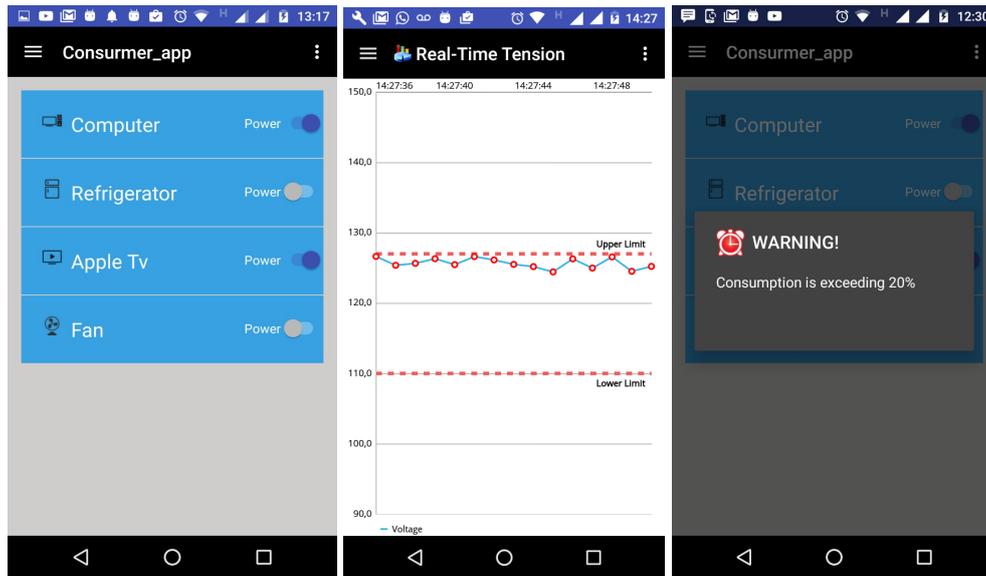
Para a interação do usuário com os equipamentos, necessitou-se da criação dos aplicativos que irão mostrar em tempo real o consumo e poderão controlar os equipamentos conectados à rede. Além disso, para que o usuário possa ter acesso às funcionalidades do aplicativo móvel e web, primeiro terá que fazer seu cadastro informando os dados da unidade consumidora, email e senha. Depois de ser autenticado, será liberado o acesso ao aplicativo relacionado à sua residência. As Figuras 6.1 e 6.2 ilustram as interfaces do aplicativo WEB e móvel, respectivamente.

Figura 6.1 – Sistema WEB de monitoramento.



Fonte: Autor.

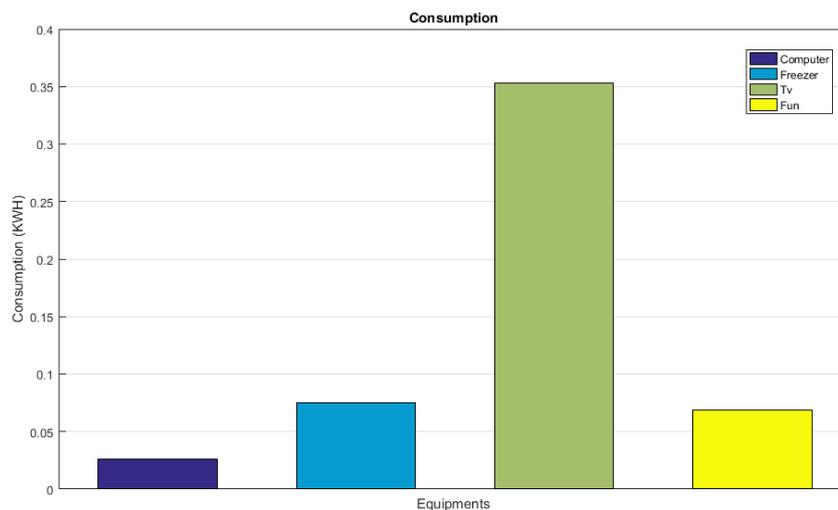
Figura 6.2 – Aplicação móvel (a) Tela de gerenciamento de eletrodomésticos (b) Tela de visualização da tensão (c) Alerta Fuzzy.



Fonte: Autor.

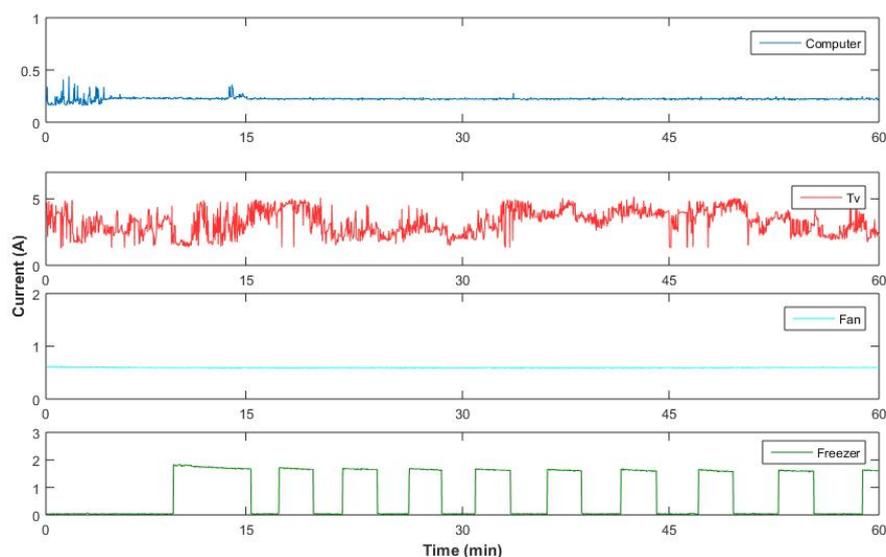
Além de poder visualizar os dados por meio das soluções desenvolvidas, a partir de dados armazenados localmente (apenas os do mês de medição no dispositivo central) ou dados armazenados remotamente (utilitário), também é possível obter outros resultados manipulando o conjunto coletado. A Figura 6.3 ilustra o nível de consumo do equipamento monitorado.

Figura 6.3 – Gráfico de visualização do consumo (kWh).

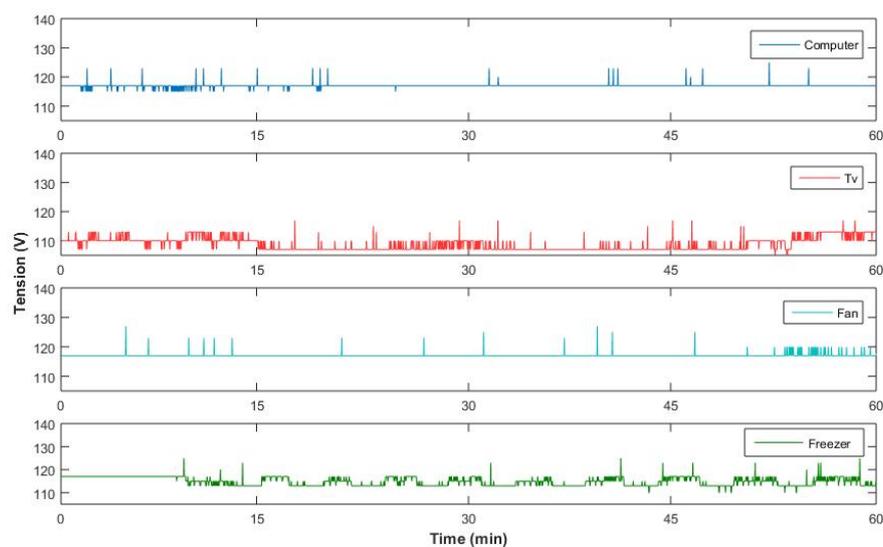


Fonte: Autor.

Da mesma forma, também é possível manipular os dados armazenados acerca de quantidades elétricas, como tensão e corrente, conforme mostrado nas Figuras 6.4 e 6.5 a seguir.

Figura 6.4 – Visualização da corrente

Fonte: Autor.

Figura 6.5 – Visualização da tensão.

Fonte: Autor.

6.3 – AMPLIAÇÃO DA ARQUITETURA PARA MEDIÇÃO E GERENCIAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL

De acordo com as especificações definidas para a implementação da arquitetura SmartCom [Oliveira, 2017], ampliou-se e implementou-se um modelo de uso mais eficiente em sistemas de iluminação indoor, validando assim as características de flexibilidade e modularidade da arquitetura SmartCoM.

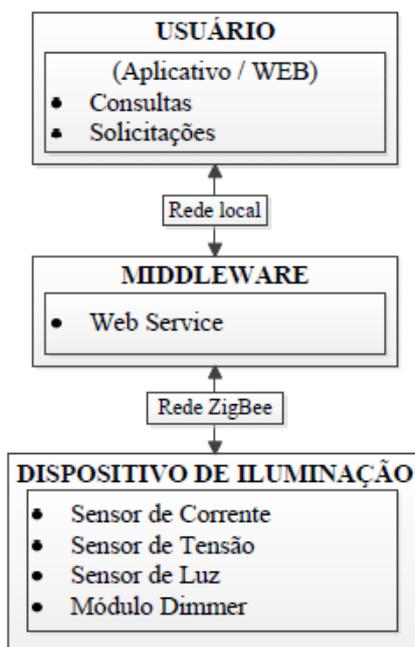
Este protótipo utiliza tecnologias como Raspberry PI© e Arduino©, responsáveis pela lógica e controle do sistema, os quais estão integrados aos

equipamentos de gerenciamento e medição, mantendo uma comunicação por meio de uma rede sem fio Zigbee. Por sua vez, a aquisição de dados e o monitoramento serão realizados a partir de um grupo de sensores de corrente, tensão e luminosidade. A atuação do dispositivo é fundamentada em princípios luminotécnicos e visa a proporcionar economia de energia elétrica garantindo conforto visual aos moradores. O utilizador do sistema também poderá interagir com o sistema por meio de aplicações móveis ou Web, baseadas em Web Services.

O protótipo do dispositivo de iluminação (DI) é responsável por coletar os dados brutos dos sensores e enviá-los para UC utilizando a rede ZigBee. Além disso, este dispositivo atua diretamente no controle de brilho de uma lâmpada. Para que o monitoramento residencial seja efetivo, cada lâmpada deverá ter um DI instalado a ela, com um registro lógico (armazenamento de informações) para identificação dos DI associado a cada lâmpada da residência.

O DI tem papel fundamental por coletar e gerenciar cada equipamento a ele conectado, sua instalação é realizada diretamente na rede elétrica residencial e deve ser localizado próximo à lâmpada a ser controlada. O dispositivo realizará constantemente a coleta de dados de corrente e tensão elétrica assim como da iluminação ambiente. Os dados coletados são encapsulados na payload do ZigBee por meio do Arduino, o qual fará o tratamento dos dados que serão encaminhados à unidade central. Seu diagrama conceitual de funcionamento está ilustrado na Figura 6.6.

Figura 6.6 – Diagrama conceitual do modelo de gerenciamento de iluminação.



Fonte: Autor.

O dispositivo proposto tem como objetivo gerar uma economia real no consumo de energia elétrica por intermédio da variação de luminosidade de lâmpadas, mantendo o conforto visual do usuário final. O critério para a escolha dos componentes se baseou no consumo de energia, no custo, na dimensão e na confiabilidade do sistema, com o intuito de oferecer leituras precisas e permitir uma fácil expansão na rede de dispositivos, sem que o mesmo tenha um alto custo agregado.

O dispositivo de iluminação foi desenvolvido adotando a técnica de modularização. A partir desta técnica é possível dividir o estudo em partes menores e que exercem funções específicas, na prática ela otimiza o desenvolvimento e possibilita testes individuais a cada um destes módulos, o DI é composto por quatro módulos:

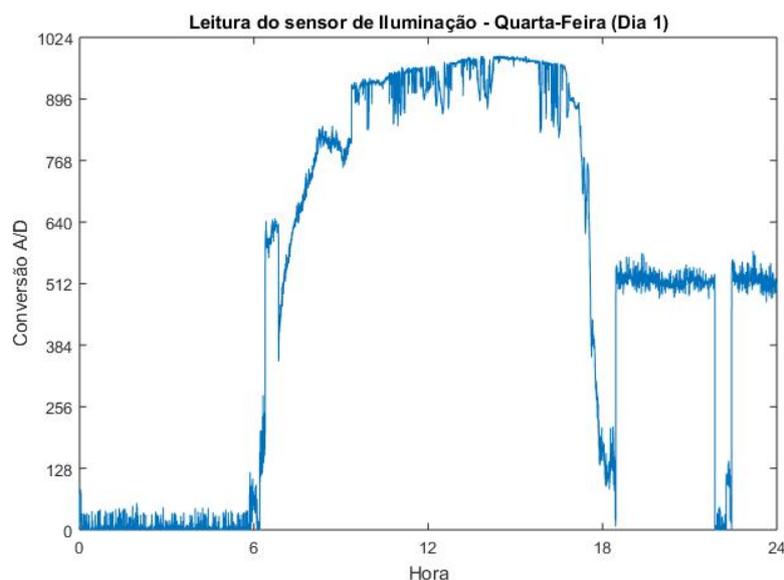
- **Alimentação:** Este módulo é responsável por suprir a demanda de energia elétrica de todos os circuitos do dispositivo. É composto por uma fonte chaveada e um regulador.

- **Processamento e Comunicação Sem Fio:** Este módulo é responsável pela leitura de sensores por meio da conversão analógico-digital, processamento de informações e a comunicação sem fio.
- **Aquisição de Dados:** Este módulo contém os circuitos que atuarão como sensores, realizando leituras de iluminação ambiente e consumo do dispositivo em monitoramento.
- **Dimmer:** Módulo atuador responsável pelo aumento ou diminuição na iluminação de uma lâmpada.

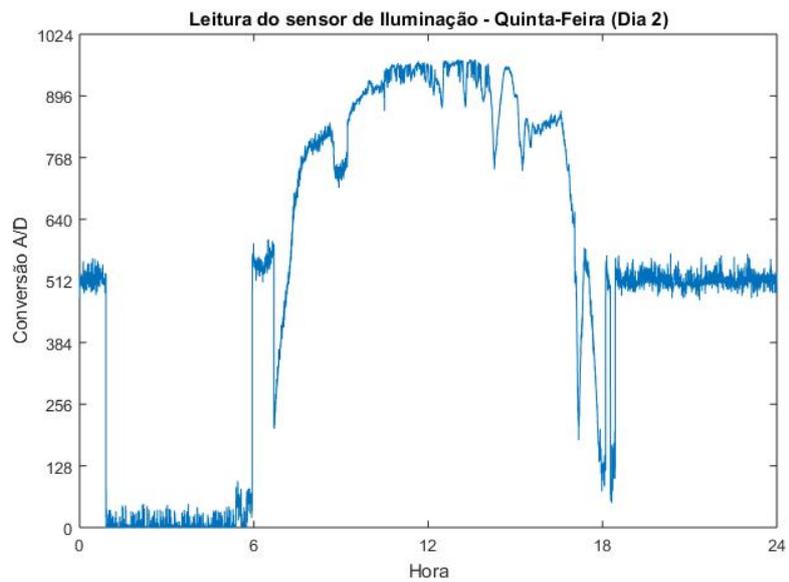
Diante da implementação do DI, foram realizados o teste de funcionamento, que tem por objetivo avaliar o comportamento do sensor ao longo de uma semana de testes. As Figuras 6.7 a 6.13 representam graficamente a variação de luz captada pelo sensor ao longo de cada dia durante uma semana de análise, realizando uma amostragem a cada cinco segundos em um ambiente residencial.

O cômodo analisado recebe iluminação natural, através de uma única janela, assim como iluminação artificial, através de uma lâmpada fluorescente. O sensor foi posicionado de forma equidistante entre a janela e lâmpada para uma melhor análise.

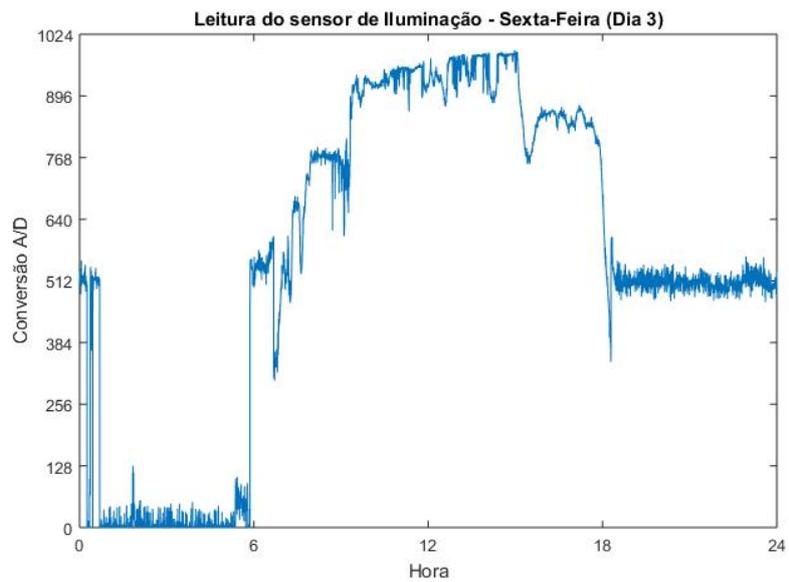
Figura 6.7 - Monitoramento de iluminação (Dia 1)



Fonte: Autor.

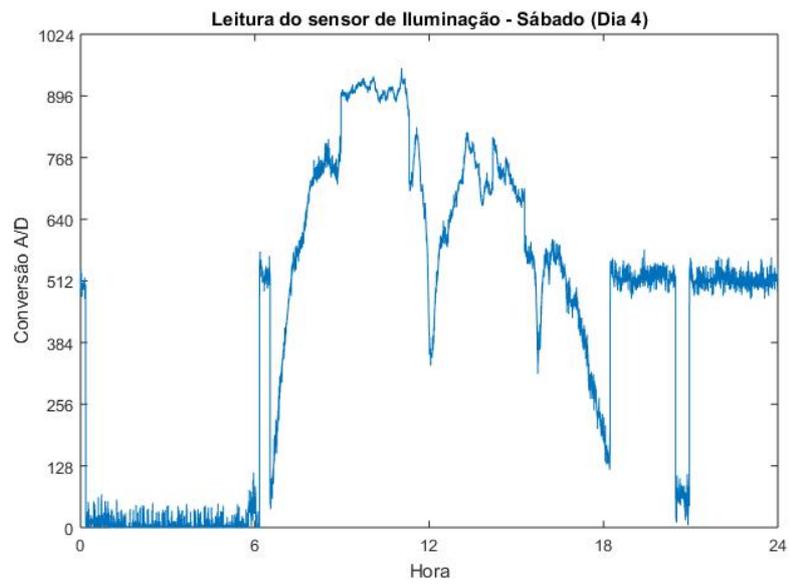
Figura 6.8 - Monitoramento de iluminação (Dia 2)

Fonte: Autor.

Figura 6.9 - Monitoramento de iluminação (Dia 3).

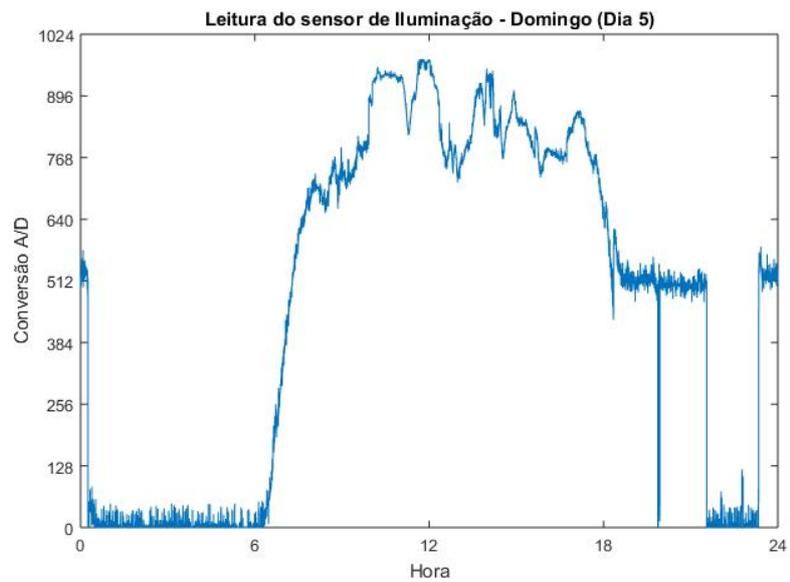
Fonte: Autor.

Figura 6.10 - Monitoramento de iluminação (Dia 4).

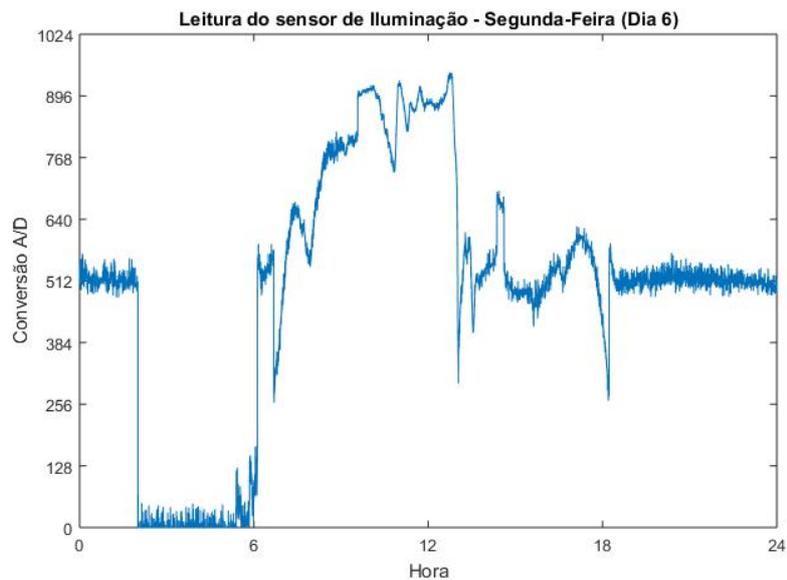


Fonte: Autor.

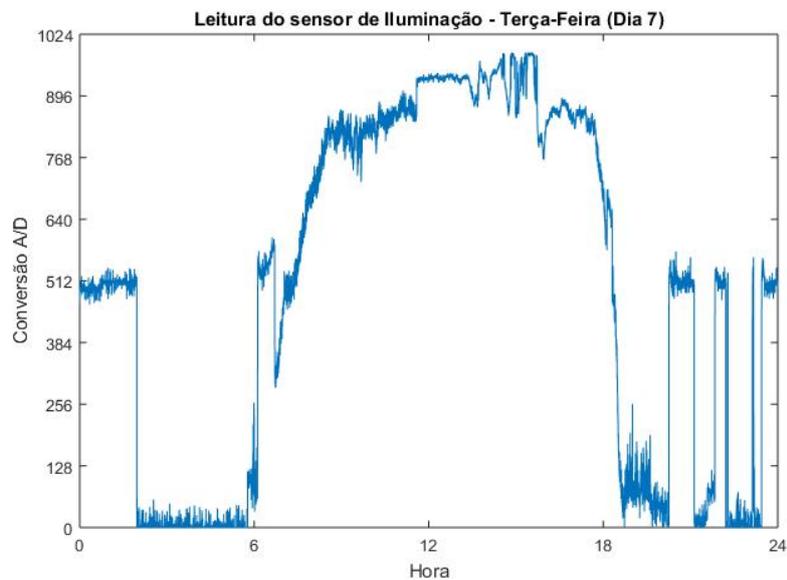
Figura 6.11 - Monitoramento de iluminação (Dia 5)



Fonte: Autor.

Figura 6.12 - Monitoramento de iluminação (Dia 6).

Fonte: Autor.

Figura 6.13 - Monitoramento de iluminação (Dia 7).

Fonte: Autor.

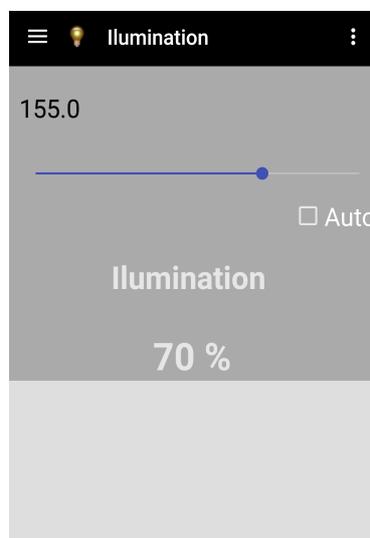
A partir da leitura dos gráficos, é possível observar que o sensor foi capaz de identificar com precisão toda a variação de iluminação ao longo da semana. Destaca-se o aumento da iluminação nas primeiras horas do dia assim como a diminuição ao fim da tarde. A iluminação artificial foi utilizada em alguns momentos e comprometeu os gráficos tipicamente em períodos noturnos, a captação desta iluminação é de aproximadamente 512 na conversão A/D.

Destacam-se também variações durante o período vespertino, provocadas principalmente por chuvas.

Conforme a análise e teste de funcionamento do protótipo, foram desenvolvidas as aplicações de gerenciamento (baseadas nas definições da arquitetura SmartCoM). A proposta deste programa é permitir que o usuário determine a potência de uma lâmpada de acordo com suas preferências ou realizar um ajuste automático de iluminação de forma fácil e necessitando apenas o uso de seu smartphone. O intuito deste teste é permitir que o usuário determine a potência de uma lâmpada de acordo com suas preferências.

A Figura 6.14 exibe a *activity* desenvolvida que permite ao usuário o controle de uma lâmpada, o número exibido no canto superior esquerdo é a leitura do sensor de iluminação do smartphone, medida em lux; abaixo é exibida uma barra de rolagem, na qual o usuário deve escolher a potência que deseja aplicar a lâmpada, existe também uma opção automática que será melhor explicada a seguir.

Figura 6.14 - Interface da aplicação para controle manual da iluminação.



Fonte: Autor.

A lógica escolhida para o desenvolvimento desta funcionalidade consiste na aplicação submeter ao Web Service o valor de iluminação desejado seguido dos caracteres “-m” que, posteriormente, serão tratados pelo dispositivo de iluminação e indicaram ter sido obtidos por meio do modo manual. A tabela 6.1

exibe os valores a serem aplicados na variável dimming de acordo com a potência escolhida.

Tabela 6.1 - Valores da variável dimming de acordo com a potência escolhida.

Potência Escolhida (%)	dimming	Potência Escolhida (%)	dimming
0	min	55	45
5	min	60	40
10	90	65	35
15	85	70	30
20	80	75	25
25	75	80	20
30	70	85	15
35	65	90	10
40	60	95	max
45	55	100	max
50	50		

Como resultado, o teste de controle foi bem sucedido, apresentando respostas rápidas às interações do usuário. Também não foram percebidas perdas de pacotes, assim como não ocorreu travamentos ou problemas de outra natureza na aplicação.

De forma semelhante ao apresentado no teste anterior, o teste automático consiste em avaliar a aplicação e o sistema como todo na dimerização de lâmpadas. A proposta para este teste consiste em atuar no brilho da lâmpada de forma automática, calibrando o ajuste de iluminação conforme as leituras do sensor de iluminação no smartphone.

A funcionalidade proposta para este teste foi implementada na mesma activity desenvolvida para o teste anterior. Utilizando-se do modo automático, para isto, basta marcar o checkbox acompanhado da palavra “Auto”. Neste momento, a barra de rolagem se torna indisponível e todo controle passa a ocorrer de forma automática, atualizando-se apenas da leitura do sensor.

A programação envolvida nesta funcionalidade consiste, por parte da aplicação, no envio da leitura do sensor de luz ao Web Service, que em seguida é encaminhada ao dispositivo de iluminação. Neste pacote são enviados apenas números e a ausência dos caracteres “-m” indicará ao microcontrolador tratar-se de um valor obtido pelo modo automático.

6.4 – USO DE LÓGICA FUZZY PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

A lógica Fuzzy introduzida na arquitetura SmartCom, a partir de estudo de dissertação de mestrado [Andrade, 2017] tem como objetivo alertar o usuário de forma rápida e responsiva, sobre o seu consumo energético atual e o provisionamento do mesmo. Evitando, assim, possíveis extrapolações bem como o desperdício de energia elétrica.

O sistema Fuzzy proposto consiste em duas variáveis de entradas (Inputs), sendo uma caracterizada pelo Índice de Consumo e a outra pela Porcentagem do Mês.

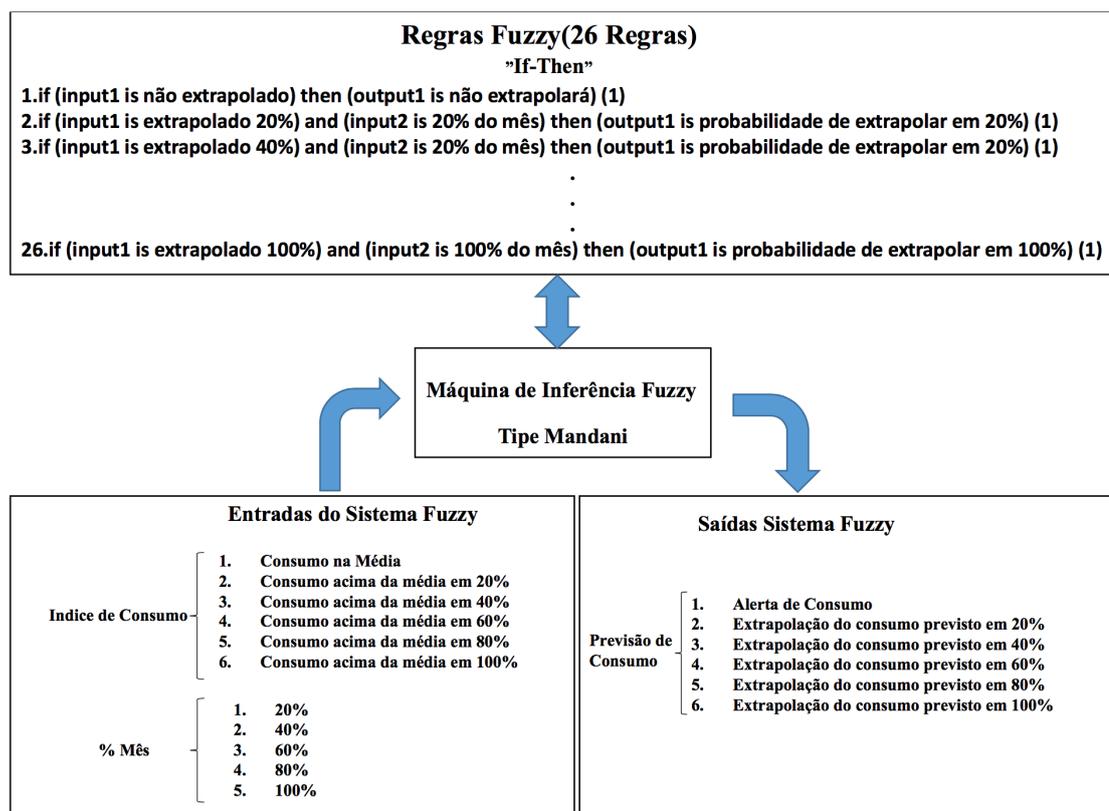
A Base de Regras (BR), no primeiro momento, possuía 30 regras. Após a análise de um especialista em lógica Fuzzy, esta foi reduzida para 26 regras. Pela sua característica nebulosa, a BR da lógica Fuzzy não deve ter a mesma quantidade de regras possíveis na combinação dos seus inputs, razão esta que corrobora com importância da análise de um especialista com o intuito de retirar regras menos pertinentes sem impactar nos resultados.

A saída do sistema (Output) é caracterizada por somente uma variável denominada de Previsão de Consumo.

Com a presença de duas entradas e uma saída, o sistema da lógica Fuzzy proposto no trabalho é um sistema MISO (Multiple Input, Single Output. Em português, Múltiplas Entradas, Única Saída).

Na Figura 6.15, é possível ver o panorama geral do sistema Fuzzy completo.

Figura 6.15 - Overview do sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

6.4.1 - VARIÁVEIS DE ENTRADA

A variável de entrada, Índice de Consumo (IC), da lógica Fuzzy, presente na Figura 6.15, tem como objetivo estabelecer parâmetros e padrões sobre consumo energético do usuário. Por meio da Equação 4, um índice é gerado baseado na média de consumo que o usuário gostaria de ter ou na sua média de consumo mensal. As variáveis presentes na fórmula, são alimentadas automaticamente pelo sistema SmartCom:

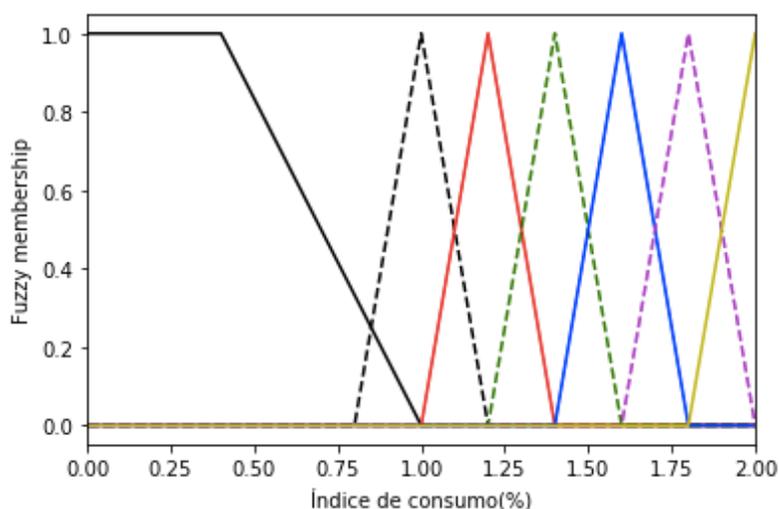
$$IC = \frac{C}{Dm \left(\frac{A}{Dr} \right)} \quad (4)$$

Sendo IC, o Índice de Consumo; C, consumo energético até o dia; Dm, o dia do mês; A, média histórica de consumo; e Dr, número de dias no mês.

Com o resultado da equação, obtém-se um número entre 1 e $+\infty$, no qual representa se o usuário está ou não na sua média de consumo, de forma que se o resultado do IC for igual a 1, corresponde que o usuário está na sua média de consumo. Se o resultando, por exemplo, for igual a 2, pode-se inferir que o consumidor dobrou o seu consumo energético e, por conseguinte, em outros valores.

A entrada Índice de Consumo no sistema de inferência Fuzzy, é caracterizada por 6 curvas triangulares (conforme ilustrado na Figura 6.16), cada uma com seu grau de pertinência máximo (1) distribuídos entre uma faixa de possíveis resultados do IC, que no universo estudado, vai de 1 a 2. Cada curva é representada por uma porcentagem (0 ~100%) de consumo extrapolado. Por exemplo, a curva em vermelho indica que o consumidor está extrapolando em 20% do seu consumo energético somente quando o resultado do IC for igual a 1.2.

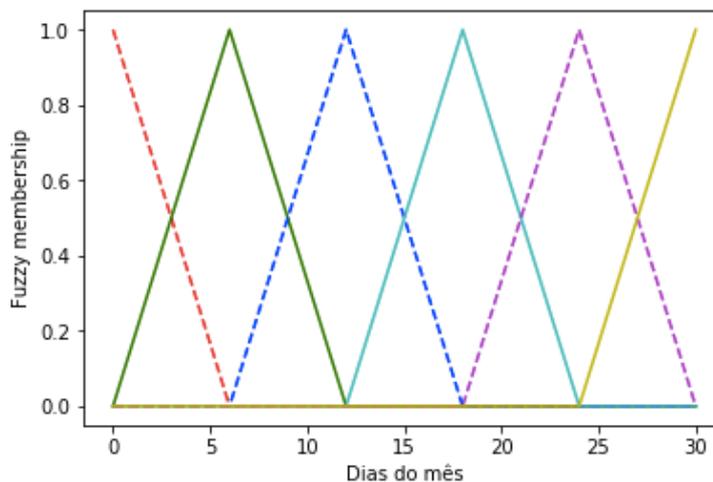
Figura 6.16 - Entrada “Índice de Consumo” no sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

A segunda entrada da lógica Fuzzy, presente na arquitetura SmartCom, tem como objetivo estabelecer em que período do mês o consumo está sendo analisado. Este input divide o mês em 5 curvas, triangulares, nos quais cada curva representa uma devida porcentagem do mês, conforme visto na Figura 6.17.

Figura 6.17 - Entrada “% mês” no sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

A primeira curva, de cor azul, representa seu grau de pertinência máximo (1) até o dia que corresponde a 20% de uma escala de 1 a 30 dias (6º dia). Após o sexto dia, a curva 20% começa a decair gradualmente, enquanto a curva correspondente a 40% do mês começa a subir, lentamente, até atingir seu grau de pertinência máximo (12º dia). Esse processo continua até a última curva que possui seu grau de pertinência máximo no trigésimo dia.

Os valores obtidos pelas duas entradas serão manipulados pelo conjunto de base de regras, no qual fará a inferência do sistema Fuzzy e gerará as suas saídas.

6.4.2 - BASES DE REGRAS E INFERÊNCIA

Conforme ilustrado a seguir na Figura 6.18, a base de regras da lógica Fuzzy é composta por 26 regras e todas com a características “IF-THEN” (SE-ENTÃO, em português), no qual promove uma análise SE a combinação das duas entradas for “x”, ENTÃO a saída será “y”.

Com as duas entradas, seria possível realizar 30 “IF-THEN” regras. Entretanto, para manter o sistema Fuzzy mais nebuloso, que é a sua característica, a análise de um especialista se faz necessária para retirar regras desnecessárias, mantendo as necessárias, para que a resposta seja adequada para todos os cenários abordados.

A Máquina de Inferência utilizada na lógica Fuzzy presente no trabalho foi a Mamdani. Por ser pragmática na forma como implementa a inferência, a metodologia tornou-se a forma mais amplamente implementada de inferência Fuzzy em algoritmos práticos e de pouca necessidade de resultados precisos.

Figura 6.18 - Regras do sistema Fuzzy.

Regras Fuzzy (26 Regras) “If-Then”

- 1.if (input1 is não extrapolado) then (output1 is não extrapolará) (1)
- 2.if (input1 is extrapolado 20%) and (input2 is 20% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 3.if (input1 is extrapolado 40%) and (input2 is 20% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 4.if (input1 is extrapolado 60%) and (input2 is 20% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 5.if (input1 is extrapolado 80%) and (input2 is 20% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 6.if (input1 is extrapolado 100%) and (input2 is 20% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 7.if (input1 is extrapolado 20%) and (input2 is 40% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 8.if (input1 is extrapolado 40%) and (input2 is 40% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 9.if (input1 is extrapolado 60%) and (input2 is 40% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 10.if (input1 is extrapolado 80%) and (input2 is 40% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 11.if (input1 is extrapolado 100%) and (input2 is 40% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 12.if (input1 is extrapolado 20%) and (input2 is 60% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 13.if (input1 is extrapolado 40%) and (input2 is 60% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 14.if (input1 is extrapolado 60%) and (input2 is 60% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 15.if (input1 is extrapolado 80%) and (input2 is 60% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 16.if (input1 is extrapolado 100%) and (input2 is 60% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 60%) (1)
- 17.if (input1 is extrapolado 20%) and (input2 is 80% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 20%) (1)
- 18.if (input1 is extrapolado 40%) and (input2 is 80% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 40%) (1)
- 19.if (input1 is extrapolado 60%) and (input2 is 80% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 60%) (1)
- 20.if (input1 is extrapolado 80%) and (input2 is 80% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 80%) (1)
- 21.if (input1 is extrapolado 100%) and (input2 is 80% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)
- 22.if (input1 is extrapolado 20%) and (input2 is 100% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)
- 23.if (input1 is extrapolado 40%) and (input2 is 100% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)
- 24.if (input1 is extrapolado 60%) and (input2 is 100% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)
- 25.if (input1 is extrapolado 80%) and (input2 is 100% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)
- 26.if (input1 is extrapolado 100%) and (input2 is 100% do mês) then (output1 is probabilidade de extrapolar em 100%) (1)

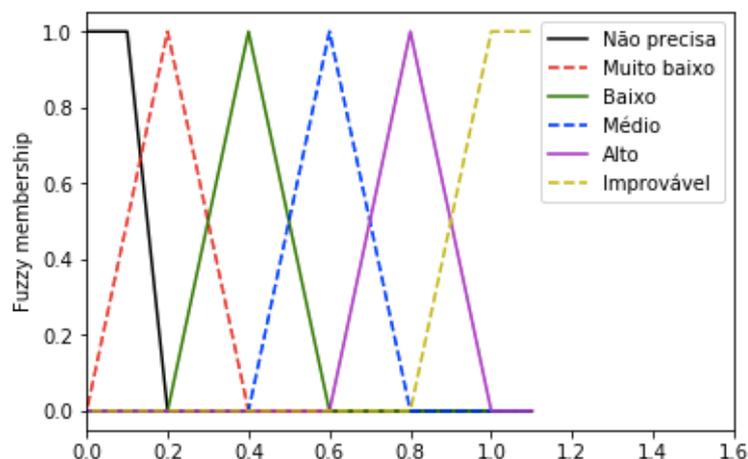
Fonte: Autor.

6.4.3 - SISTEMA FUZZY: SAÍDA

A saída do sistema Fuzzy intrinsecamente depende de suas variáveis de entrada “IC” e “% mês”. Quando os valores de entrada são alterados, a saída também é modificada. Esta é caracterizada por 6 curvas triangulares, como pode ser analisado na Figura 6.19, nos quais tem seus pontos de pertinência nos valores que correspondem a probabilidade de extrapolação do consumo energético. Esta probabilidade é convertitada em porcentagem para que o usuário possa interpretar de uma melhor forma. No caso da primeira curva (azul escuro), o consumidor não está extrapolando seu consumo. Já na curva vermelha, o consumidor provavelmente, se mantiver com o mesmo perfil de consumo, irá extrapolar em 20%. As outras curvas seguem o mesmo princípio.

Com base na saída, o sistema de gerência do consumo pode permitir que a tomada de decisão seja realizada com maior precisão, verificando o consumo inteligente dos dispositivos eletrônicos para que o consumidor possa ser notificado do estado atual do seu consumo de energia.

Figura 6.19 - Saída “Consumo Excedido” no sistema Fuzzy.



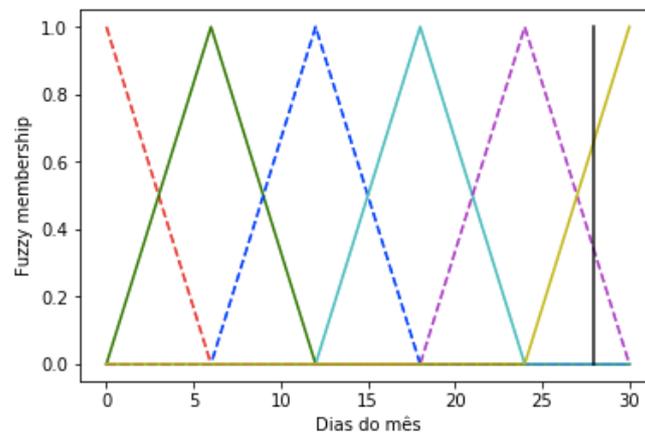
Fonte: Autor.

Além disso, os equipamentos com uma maior utilização de energia podem ser listados a partir dos dados monitorados de cada aparelho, em face do consumo excessivo mostrado pelo sistema Fuzzy. Isto significa que o utilizador pode decidir quais os elementos que devem ser desligados ou reduzir a sua utilização, com base nas estratégias definidas, e assim garantir uma otimização do consumo de energia.

Para exemplificar os conceitos apresentados, será demonstrado um exemplo de execução do comportamento do sistema de inferência Fuzzy a partir da entrada de valores capturados pela arquitetura.

Inicialmente, será necessário fornecer os valores de entrada. A figura 6.20 ilustra o resultado da variável de entrada “% do mês” com valor igual a 28.

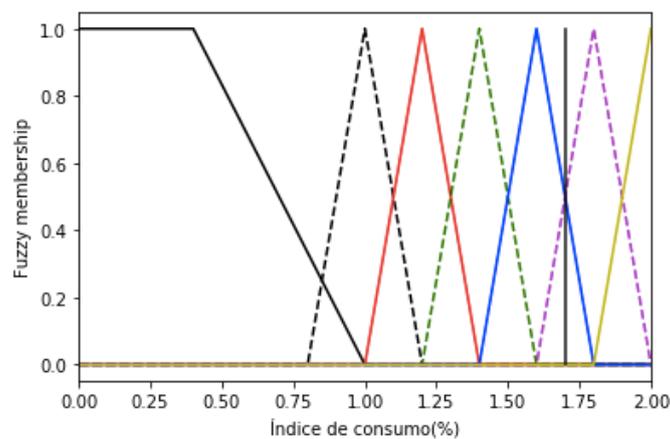
Figura 6.20 - Entrada “% do mês” no sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

Posteriormente, o sistema também fornece como variável de entrada o valor para o índice de consumo, sendo igual a 1,7, conforme ilustrado na Figura 6.21 ilustrada a seguir.

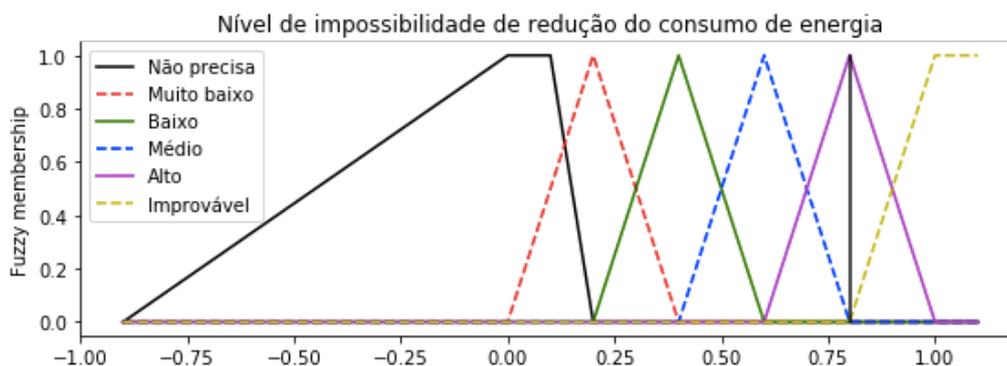
Figura 6.21 - Entrada “Índice de consumo” no sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

Após serem definidos os valores das entradas do sistema Fuzzy, estes valores serão *fuzzyficados*, ou seja, serão aplicados a função de pertinência aos valores. Em seguida a entrada fuzzyficada é aplicada ao o sistema de inferência Fuzzy. A Figura 6.22 ilustra a saída do sistema de inferência Fuzzy, com resultado igual a 0,8, configurando alta o nível de impossibilidade de redução do consumo de energia.

Figura 6.22 - Saída no sistema Fuzzy.



Fonte: Autor.

A partir da modelagem do sistema Fuzzy (variáveis de entrada, regras e saída), o teste incorporado na SmartCoM também considerou a utilização de outro parâmetro a partir da saída Fuzzy. O estudo apresentado por [Andrade et al., 2017] especifica a utilização de parâmetros de conforto e 3 perfis concebidos com o intuito de equilibrar o consumo energético de uma determinada residência, mas priorizando o conforto e o seu tempo de utilização pelo usuário. Para tanto, é necessário realizar o cálculo do Índice de Conforto (CI) para definir a estratégia de otimização do consumo de energia.

Ao estabelecer critérios para uma zona de conforto na relação entre eletrodomésticos e níveis de conforto humano, a fórmula do índice de conforto (IC) foi concebida como:

$$IC = (HEU / HAH) * DW \quad (5)$$

Onde HEU (horas de uso do equipamento), HAH (horas em casa) e DW (dias da semana).

Depois disso, o aplicativo adota a seguinte estratégia (perfil):

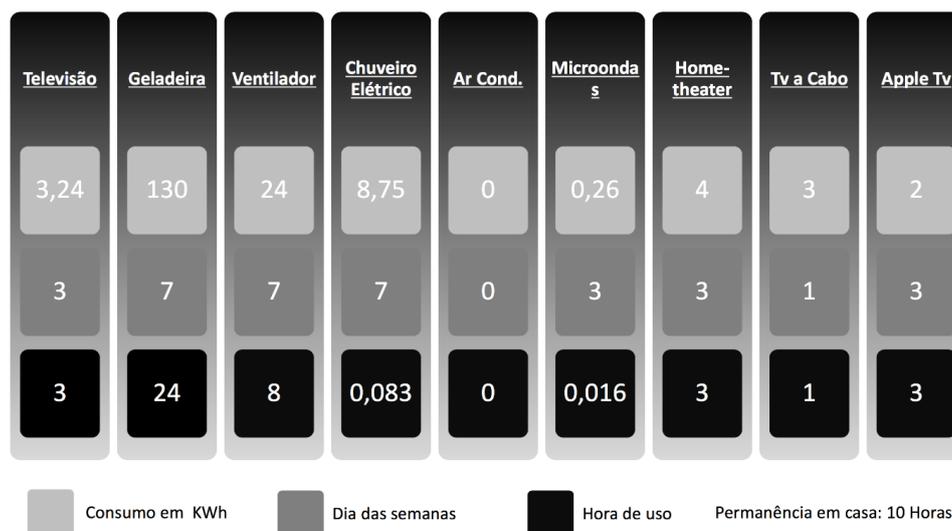
- a) Redução do consumo de energia como ordem de prioridade (Perfil 01): o valor do excesso de consumo é subtraído da quantidade utilizada pelo aparelho em que o consumidor tem menos dependência;

- b) Redução do consumo de energia com base em uma porcentagem do consumo excessivo (Perfil 02): a estratégia é projetada para reduzir o consumo de energia sem a necessidade de que qualquer aparelho doméstico seja desligado, de modo a manter as zonas de conforto dos usuários. O consumo excessivo de eletricidade será compartilhado entre os aparelhos, uma vez que é necessário manter um sistema de controle de energia inteligente. Este controle será calculado para cada aparelho doméstico e fornecerá aos seus ocupantes um novo sistema para controlar o consumo de eletricidade.
- c) Taxa de redução de energia dos consumidores com base na escolha do consumidor (Perfil 03): o usuário reduz o excesso de energia, manualmente, de eletrodomésticos selecionados.

Para ser realizado o teste da lógica Fuzzy, com adoção dos critérios supracitados, pela inviabilidade de uma base de dados histórica, optou-se por realizar uma pesquisa de campo no intuito de validar esta solução. A pesquisa contou com a participação de 108 pessoas, das quais 58.3% foram do sexo feminino e 41.7% do masculino.

Com os dados obtidos no questionário, a fórmula IC poderá ser alimentada, sendo o resultado desta os equipamentos eletrônicos reordenados conforme seu grau de dependência em relação ao usuário, conforme apresentado na Figura 6.23.

Figura 6.23 - Média dos dados obtidos no questionamento com equipamentos não reordenados.



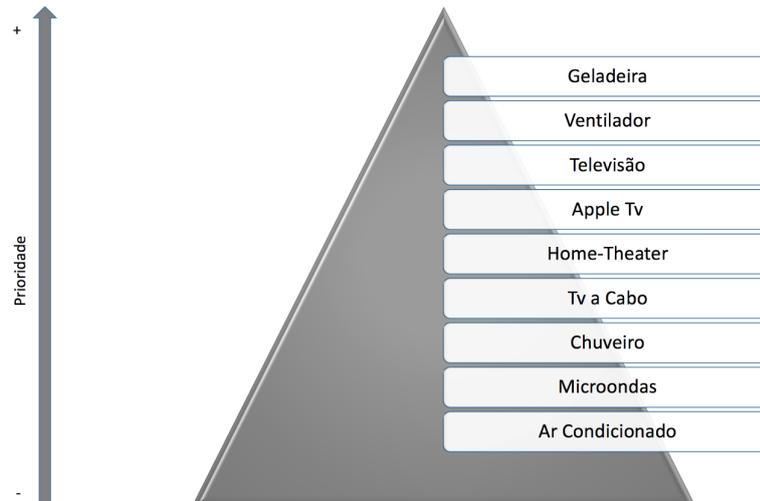
Fonte: Autor.

Foi adotado como consumo padrão para fins de análise o valor de 175,25 KWh, o qual corresponde ao somatório do consumo energético de cada eletrodoméstico.

A diminuição da quantidade de equipamentos presentes na figura 6.15, em relação à pesquisa realizada, deve-se ao fato que estes foram os equipamentos que tiveram a maior moda. Desta forma, o trabalho utilizou os nove primeiros equipamentos com a maior repetitividade nas respostas.

Ao aplicar a fórmula IC nos equipamentos presentes na Figura 6.24, tem-se:

Figura 6.24 - Equipamentos reordenados baseados na fórmula IC.

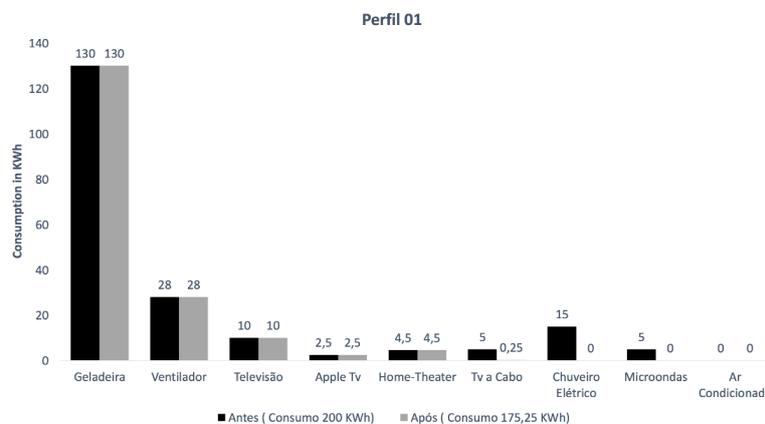


Fonte: Autor.

Com a reordenação dos eletrodomésticos, o sistema de consumo inteligente poderá agir aplicando um dos 3 perfis, conforme a escolha do usuário, para equilibrar o consumo energético em caso de eventual extrapolação.

Para o perfil 01, o consumo excedido foi retirado dos equipamentos com menor grau de dependência (os últimos valores no eixo x). O valor excedido, no caso, foi o de 24,75 KWh e este foi retirado do consumo futuro, primeiramente, do ar condicionado, e depois, a sequência micro-ondas, chuveiro elétrico e tv a cabo. Após a ação do perfil 01, o valor excedido foi zerado e o consumo voltou para o padrão pré-estabelecido pelo usuário (175,25KWh), conforme visto na Figura 6.25.

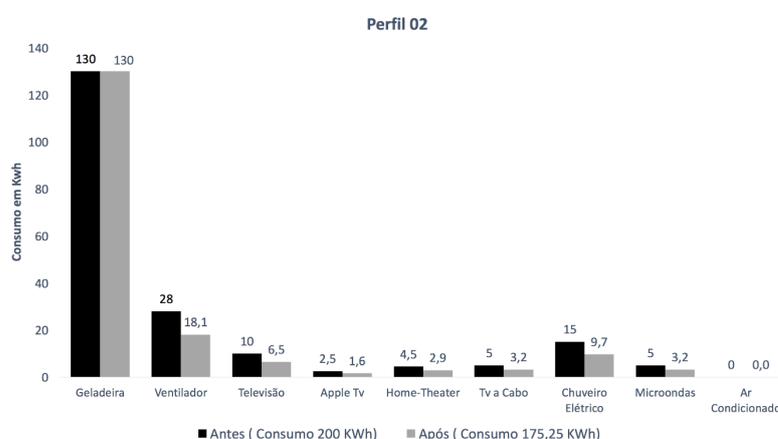
Figura 6.25 - Resultado após a utilização do perfil 01.



Fonte: Autor.

O perfil 02, ao se utilizar da fórmula CEI, retira proporcionalmente de cada eletrodoméstico, um determinado valor em KWh do seu consumo futuro, o qual é baseado na porcentagem deste equipamento em relação ao consumo total (200KWh), conforme se pode analisar na Figura 6.26. Essa subtração tem como intenção estabilizar de forma proporcional e menos impactante, o consumo energético, visando ao consumo padrão de 175,25 KWh. Com a técnica utilizada neste perfil, o consumidor não necessitará desligar qualquer equipamento, mantendo, portanto, o máximo de conforto.

Figura 6.26 - Resultado após a utilização do perfil 02.

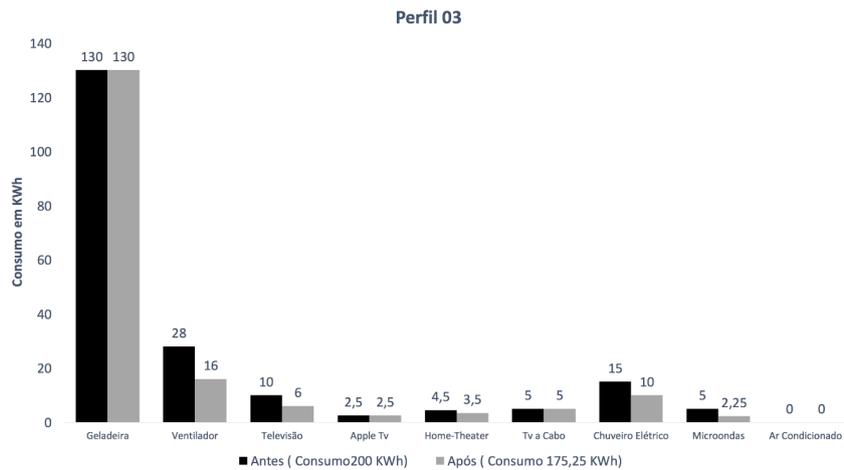


Fonte: Autor.

O perfil 03, com o resultado presente na Figura 6.27, é o único que permite que a redistribuição do consumo futuro dos eletrodomésticos seja feita de forma manual. Sendo assim, o consumo extrapolado, por escolha do usuário, foi reduzido do consumo do micro-ondas, chuveiro elétrico, ventilador, televisão e Home-Theater.

A intenção deste perfil é permitir ao usuário a possibilidade de gerenciar, conforme a sua vontade, o consumo energético da sua residência. Com a escolha deste perfil, o usuário pode mudar o consumo energético futuro dos equipamentos à sua escolha.

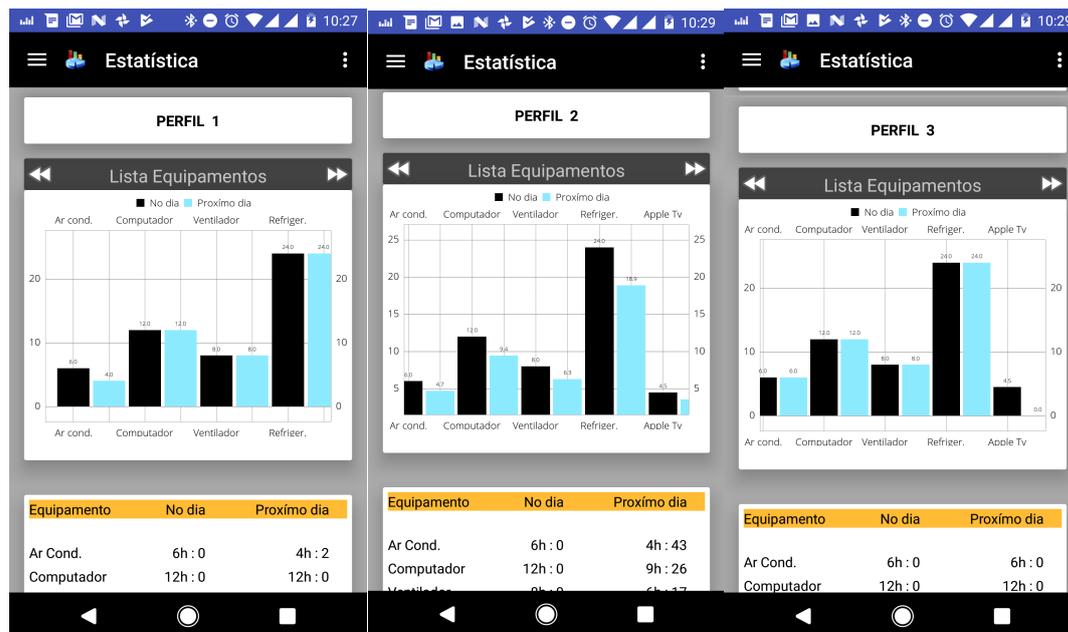
Figura 6.27 - Resultado após a utilização do perfil 03.



Fonte: Autor.

Como parte fundamental da arquitetura SmartCoM, a aplicação de gerenciamento do usuário também foi desenvolvida para assim permitir o teste da solução inteligente e visualização dos resultados. A visualização do consumo real e futuro mostrados na Figura 6.28 se dá a partir do celular do usuário, no qual este poderá ver os possíveis cenários antes da escolha do perfil mais adequado. Desta forma, este poderá selecionar o perfil e rearranjar o consumo energético de forma menos impactante para o seu conforto.

Figura 6.28 – Aplicação móvel para visualização dos consumos baseados nos perfis.



Fonte: Autor.

6.5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados, a arquitetura SmartCoM atendeu de forma adequada aos requisitos para desenvolvimento de soluções de monitoramento e gerenciamento inteligente para o cenário de *Smart Home*.

Além disso, o *middleware* atuou de forma transparente nos softwares de gerenciamento Web e móvel, quando testado em diferentes dispositivos móveis que utilizam o sistema operacional Android.

Todos os testes anteriormente discutidos utilizaram e/ou aperfeiçoaram a solução de hardware, por exemplo, aumento de memória física para armazenamento dos dados provenientes das medições e para execução da lógica Fuzzy. Contudo, independente da execução da lógica Fuzzy, não houve alteração do funcionamento ou gerenciamento dos dispositivos monitorados na rede durante a realização dos testes.

A arquitetura SmartCoM demonstra ser uma nova resposta para atender às demandas de interoperabilidade e monitoramento inteligente em ambientes residenciais, por abordar diversos requisitos e funcionalidades necessárias para a adoção deste tipo de solução.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

O objetivo principal do SmartCoM é encontrar uma solução completa de fim a fim para *Smart Home*, com base em conceitos de desenvolvimento de dispositivos, medição, interoperabilidade, inteligência computacional e aplicativos amigáveis. Ao implementar a arquitetura SmartCoM, foram desenvolvidos os seguintes procedimentos: uma solução de hardware para monitoramento e um *middleware* para fornecer um barramento de serviços interoperável e o desenvolvimento de aplicativos amigáveis para o módulo de gerenciamento. A arquitetura também leva em consideração características tecnológicas específicas, tais como: disponibilidade de informações, transparência de serviços, modularidade, alto nível de flexibilidade e reutilização.

A arquitetura SmartCoM surge como um novo modelo de interoperabilidade para desenvolvimento de aplicações em nível de *software* e *hardware*, abordando os principais aspectos que são essenciais para o domínio *Smart Home*. Suas características não são apenas apropriadas para o contexto de monitoramento e gerenciamento, mas também são capazes de fornecer uma interface para o gerenciamento por meio de sistemas interconectados com o módulo de gerenciamento central. No entanto, isso não significa que não se possa desenvolver as próprias soluções para monitorar e gerenciar as residências.

O trabalho também apresentou um método de tomada de decisão aplicando sistema Fuzzy para alertar o usuário sobre o consumo excessivo de energia e reequilibrar o consumo baseado em perfis pré-estabelecidos e com características únicas, no qual visam a reequilibrar o consumo energético da residência. Cada perfil é apresentado ao usuário, através do aplicativo desenvolvido para o SmartCom, com o intuito de escolher o perfil que melhor se encaixa com as suas necessidades.

Vale ressaltar que os dados gerados obtidos do SmartCoM permitirão conceber mecanismos eficientes que representem um meio eficaz de implementar políticas públicas para reduzir o consumo de energia. Como pode

ser observado, ao empregar o SmartCoM, é possível rastrear o padrão de consumo de cada cliente residencial conectado. O sistema também pode melhorar o meio ambiente aplicando técnicas eficazes de inteligência computacional para produzir indicadores que possam ajudar a reduzir o desperdício de energia elétrica.

7.1 – CONTRIBUIÇÕES DA TESE

A arquitetura SmartCoM oferece uma grande quantidade de contribuições para o ambiente *Smart Grids*, em particular, para o *Smart Home*. Algumas das principais contribuições estão listadas abaixo:

- Proposição de uma arquitetura interoperável, aberta, modular, segura e flexível para desenvolvimento de soluções de monitoramento residencial em cenários de *Smart Home*, a qual proporciona uma forma única de comunicação entre dispositivos e *softwares* heterogêneos, garantindo os requisitos básicos de monitoramento e gerenciamento inteligente, a partir da possibilidade de utilização de medição e de técnicas de inteligência computacional;
- Desenvolvimento de padrões abertos de baixo custo para dispositivos de medição e transmissão;
- Um módulo inteligente para a classificação e previsão de consumo visando ao consumo sustentável de uma residência e o bem-estar do morador, por intermédio de um método baseado em perfis, a partir do qual se prioriza o conforto do usuário, ao fazer com que o remanejamento do consumo energético excedente seja distribuído no consumo energético futuro, com o mínimo impacto possível na qualidade de vida do consumidor.
- Uma interface amigável para dispositivos móveis para monitorar e controlar os dispositivos do usuário final;
- Um sistema de consumo de Planejamento e Gerenciamento para o usuário final e utilitários.
- A flexibilidade da metodologia proposta que a torna capaz de incorporar novos elementos e variáveis aleatórias, de acordo com o

objetivo ou estudo de interesse, permitindo a geração de inúmeros cenários de simulação.

Todos esses dispositivos e componentes de software são escaláveis e altamente interoperáveis. Todos eles são baseados em padrões abertos e uma característica chave é seu baixo custo. Esses fatores tornam a arquitetura SmartCoM adequada para exploração comercial em grande escala. Além disso, a arquitetura foi submetida a validação em ambientes do mundo real e, portanto, é adequada para uso pelas concessionárias.

Como forma de divulgação do trabalho realizado ao longo do desenvolvimento desta tese de doutorado, vários artigos em periódicos e conferências foram publicados/aceitos. A seguir, a lista dos principais:

Aceite do trabalho no *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications* (Jmoe): Edvar da L. Oliveira, Rodrigo D. Alfaia, Anderson V. F. Souto, Marcelino S. Silva, Carlos Renato L. Francês, “SmartCoM: Smart Consumption Management Architecture for Providing a User-Friendly *Smart Home* based on Metering and Computational Intelligence”, classificação qualis CAPES: B1, 2017.

A aceitação do trabalho em 7 conferências internacionais:

- The Third International Symposium on Ubiquitous Networking 2017(Unet 2017- Casablanca - Marrocos);
- 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA 2017- Annency - França);
- 3rd International conf on Advanced Intelligent systems and Informatics 2017(AISI 2017 -Cairo - Egito);
- 3rd EAI International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems (INISCOM 2017 - Ho Chi Minh City - Vietnam);
- 6th IEEE International Conference on Computer Application in Electrical Engineering – Recent Advances (CERA – Roorkee - India);

- 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON – Riga - Letônia);
- 9th EAI International Conference on Wireless and Satellite Systems (WISATS - Oxford, Great Britain).

A publicação de trabalho na conferência *The Third International Symposium on Ubiquitous Networking 2017*, Casablanca - Marrocos e também no Springer Lecture Notes in Computer Science (LNCS – fator: 0.8).

7.2 – TRABALHOS FUTUROS

Como possíveis desdobramentos deste trabalho, vislumbram-se:

- Aperfeiçoar a arquitetura SmartCoM para monitoramento e controle de fornecimento de energias renováveis;
- Agregar novas funcionalidades para controle mais efetivo e individual dos residentes;
- Aprimorar as funcionalidades das interfaces de medição para realizar auto-configuração e inserção automática na rede;
- A evolução do método de inteligência computacional com a implementação da técnica Neuro-Fuzzy, visando a um maior e mais abrangente aprendizado dos comportamentos dos integrantes e, assim, obter novos resultados a partir de cenários distintos.
- Explorar outras técnicas de inteligência computacional que possam prever ou extrair padrões de consumo, de maneira a proporcionar aos consumidores os valores ótimos de consumo de energia;
- Embarcar novos métodos de sensoriamentos e transmissão de dados, com menos intervenção na casa a ser instalada o SmartCom;
- Aprofundar os estudos na tecnologia Li-Fi (*Light Fidelity*), no qual o sistema comunicação se dá por meio da luz visível, sendo até 250 vezes mais rápido do que o padrão Wi-Fi.

7.3 – DIFICULDADES ENCONTRADAS

O desenvolvimento do trabalho encontrou uma série de dificuldades que passaram desde encontrar uma técnica computacional que suprisse as necessidades da arquitetura SmartCom, até a falta de artigos que corroborassem com uma tomada de decisão energética inteligente baseada no conforto do usuário.

Entre as dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho, destacam-se:

- A inexistência de uma base de dados da classe consumidora residencial para teste das aplicações desenvolvidas;
- O estudo aprofundado sobre a integração do resultado proveniente da saída da lógica Fuzzy, a fim de criar cenários realísticos e obter análises confiáveis do comportamento real do sistema inteligente, mesmo a partir dos resultados das simulações;
- Limitações dos componentes de hardware para desenvolvimento do protótipo inicial de teste, ressalta-se que alguns tiveram que ser importados, dilatando o tempo de construção do protótipo;
- Escassez de maquinário necessário para construção em escala das placas de monitoramento, este processo foi realizado de forma manual e consumiu bastante tempo;
- Com relação as características da rede da concessionária, não há documentação das soluções de softwares ou interfaces de comunicação para que a arquitetura SmartCoM pudesse ser sujeita a testes de conectividade, todo processo para transmissão dos dados foi realizado em laboratórios de pesquisa (ambiente controlado).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ABINEE, 2010] Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, “Revista ABINEE”, on-line em: <http://www.abinee.org.br/informac/revista/rev57.pdf>.
- [Ahmed et al., 2015] A. Ahmed, S. Razzaq, A. Khan, and F. Khursheed, “HEMSS and enabled demand response in electricity market : An overview,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 773–785, DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.045, 2015.
- [Al-Jaroodi & Mohamed, 2012] J. Al-Jaroodi, N. Mohamed, “Service-oriented *middleware*: A survey,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 35, no. 1, pp. 211–220, DOI: 10.1016/j.jnca.2011.07.013, 2012.
- [Ali et al., 2015] O. A. M. Ali, A. Y. Ali, and B. S. Sumait, “Comparison between the Effects of Different Types of Membership Functions on Fuzzy Logic Controller Performance,” *Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 76–83, 2015.
- [Andrade, 2017] S. Andrade, “Estratégias De Planejamento Para Otimização Do Consumo Residencial De Energia Elétrica: Uma Abordagem Baseada Em *Smart Home* E Sistemas Fuzzy”, dissertação de mestrado, programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, UFPA, 2017.
- [Andrade et al., 2017] Andrade, S. H. M. S. ; Oliveira, E. L. ; Alfaia, R. D. ; Souto, A. F. ; Vijaykumar, N. L.; Francês, C. R. L., “Adopting Fuzzy Technique to Save Energy in Smart Home Control System”. The Third International Symposium on Ubiquitous Networking, Casablanca, 2017.
- [ANEEL, 2010] Aneel, Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente, 2013, On-line em:http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/007-Edital_chamada_publica_ICG_LER%20e%20FA2010_12.11.pdf

- [ANEEL, 2013] Aneel, Inova Energia, 2013, On-line em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/programas-e-linhas/inova-energia/edital-inova-energia-01-2013.pdf>
- [ANEEL2, 2013] Aneel, Sistema de inteligência analítica do setor elétrico, 2013, On-line em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PD%20Estrat%C3%A9gico%20018-2013_SIASE.pdf.
- [ANEEL3, 2013] Aneel, Sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica, 2013, On-line em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Chamada%20Proj%20Estrat%C3%A9gico%2016%20-%20Sist%20Monitoramento%20da%20Qualidade%20da%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf>.
- [ANEEL, 2016] Aneel, Eficiencia energetica e minigeração em instituições públicas de educação superior, 2016, On-line em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/15136291/FAQ+1/d67acfd0-9919-4666-a448-1385cc83fa11>.
- [Arnold, 2011] G. W. Arnold, "Challenges and Opportunities in *Smart Grid*: A Position Article" (invited paper), Proceedings of IEEE, Vol. 99, No 6, DOI: 10.1109/JPROC.2011.2125930, Junho de 2011.
- [Asadullah & Ullah, 2017] M. Asadullah; K. Ullah, "*Smart Home* automation system using Bluetooth technology", 2017 International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT), p.: 1 - 6, DOI: 10.1109/ICIEECT.2017.7916544, 2017.
- [Báez et al., 2010] R. Báez, J. Berrelleza, E. Pech, "Controlling Digital Dimmer Through Mobile Phone", 20th International Conference on Electronics, Communications and Computer (CONIELECOMP), Cholula, Mexico, 22-24 Feb, DOI: 10.1109/CONIELECOMP.2010.5440794, 2010.
- [Belqasmi et al., 2011] F. Belqasmi, R. Glitho, C. Fu, "RESTful web services for service provisioning in next-generation networks: a survey," Commun.

- Mag. IEEE, vol. 49, no. 12, pp. 66–73, DOI: 10.1109/MCOM.2011.6094008, 2011.
- [Beaudin & Zareipour, 2015] M. Beaudin, H. Zareipour, “Home energy management systems: A review of modelling and complexity,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 318–335, 10.1016/j.rser.2015.01.046, May 2015.
- [Cao et al., 1997] S. G. Cao, N. W. Rees, and G. Feng, “Analysis and design for a class of complex control systems Part I: Fuzzy modelling and identification,” *Automatica*, vol. 33, no. 6, pp. 1017–1028, DOI: 10.1109/FUZZY.1996.551814, 1997.
- [CAPES, 2011] Capes, Daad, Giz, Programa novas parcerias - NoPa , 2011, On-line em:
https://www.capes.gov.br/images/stories/download/bolsas/Edital026_NoPa2011_NovasParcerias.pdf
- [CEMIG, 2009] Cemig, Cidades do Futuro, 2009, On-line em:
<http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas/Paginas/CidadesdoFuturo.aspx>
- [Chaturvedi, 2010] D. K. Chaturvedi, “Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink”. 2010.
- [Chhabra, 2016] J. Chhabra, “IoT based *Smart Home* Design using Power and Security Management”, no. *Iciccs*, pp. 6–10, DOI: 10.1109/ICICCS.2016.7542317, 2016.
- [Ching, 2010] T. Ching, “Modular dimmable light-emitting-diode driver for general illumination applications”. *Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Canadian, DOI: 10.1109/CCECE.2010.5575236, 2010.
- [Chou et al., 2017] P. Chou, Y. Hsu; W. Lee, Y. Kuo, C. Chang, Y. Cheng, H. Chang; S. Lin, S. Yang, H. Lee, “Development of a *Smart Home* system based on multi-sensor data fusion technology”, *International Conference on Applied*

System Innovation (ICASI), p.: 690 - 693, DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988519, 2017.

[DECC, 2009] Department of Energy and Climate Change, "Smarter Grids: The Opportunity", UK, Dezembro de 2009.

[DOE, 2009] Department of Energy, "*Smart Grid System Report*", USA, Julho de 2009.

[Dolezilek, 2010] D. Dolezilek, "Case Study Examples of Interoperable Ethernet Communications within Distribution, Transmission, and Wide-Area Control Systems", Communications Workshops (ICC), 2010 IEEE International Conference on , vol., no., pp.1-7, DOI: 10.1109/ICCW.2010.5503918, 23-27 de maio de 2010.

[ETP, 2010] European Technology Platform, "SmartGrids – Strategic Deployment Document for Europe`s Electricity Networks of the Future", draft, Janeiro 2010.

[Faceli et al., 2011] K. Faceli, A. Lorena, J. Gama, A. Carvalho, "Inteligência Artificial - Uma abordagem de Aprendizagem de Máquina", LTC, 1ª ed. 2011.

[Ferdoush & Xinrong, 2014] S. Ferdoush, X. LI, "Wireless sensor network system design using Raspberry PI and Arduíno for environmental monitoring applications". *Procedia Computer Science*, v. 34, p. 103-110, doi:10.1016/j.procs.2014.07.059, 2014.

[Filho et al., 2015] A. Filho, J. Coura, P. Correia, "New Methodology for *Smart Grids* in Brazil", IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), doi:10.1109/COBEP.2015.7420074, 2015.

[Filho & Filho et al 2015] H. Filho; J. Filho, A. Pinto, "New methodology for *Smart Grids* in Brazil", CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), p. 573 - 578, DOI: 10.1109/Chilecon.2015.7400435, 2015.

- [Gabriele et al., 2015] T. Gabriele, L. Pantoli, V. Stornelli, D. Chiulli, and M. Mutillo, "Smart power management system for home appliances and wellness based on wireless sensors network and mobile technology," in 2015 XVIII AISEM Annual Conference, pp. 1-4, DOI: 10.1109/AISEM.2015.7066808, 2015.
- [GridWise, 2012] _____, "GridWise Architecture Council, GridWise™ Architecture Council Interoperability Path Forward Whitepaper", Fevereiro 2012, *on-line* em www.gridwiseac.org/pdfs/interoperability_path_whitepaper_v2_0.pdf.
- [Guilly et al., 2013] T. Guilly, P. Olsen, A. P. Ravn, J. B. Rosenkilde, and A. Skou, "HomePort: *Middleware* for heterogeneous home automation networks," 2013 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. PerCom Work. 2013, no. March, pp. 627-633, DOI: 10.1109/PerComW.2013.6529570, 2013.
- [Haghifam et al., 2013] M.-R. Haghifam, A. Mohsenzadeh, M. H. Shariatkhah, "Applying fuzzy techniques to model customer comfort in a *Smart Home* control system," in 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013), no. 1164, pp. 1164-1164, DOI: 10.1049/cp.2013.1100, 2013.
- [Han et al., 2014] J. Han et al., "*Smart Home* energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 60, No. 2, pp. 198-202, DOI: 10.1109/TCE.2014.6851994, May. 2014.
- [Higgins et al., 2011] N. Higgins, V. Vyatkin, N.K.C. Nair, K. Schwarz, "Distributed Power System Automation With IEC 61850, IEC 61499, and Intelligent Control," Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on , vol.41, no.1, pag. 81-92, DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2046322, janeiro de 2011.
- [Hoosain & Paul, 2017] M. Hoosain, B. Paul, "*Smart Homes*: A domestic demand response and demand side energy management system for future *Smart*

Grids", IEEE International Conference on Domestic Use of Energy (DUE), Cape Town, South Africa, South Africa, do:10.23919/DUE.2017.7931852, 2017.

[Huang & Zhang, 2017] X. Huang, C. Zhang "Over-the-air manipulation: An intuitive control system for *Smart Home*". In: Applied System Innovation (ICASI), 2017 International Conference on. IEEE, p. 18-21, DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988334, 2017.

[Huibin et al., 2011] S. Huibin, S. Ying, L. Wei-Jen, "A Demand Side Management Model Based on Advanced Metering Infrastructure", IEEE 4th international Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), DOI: 10.1109/DRPT.2011.5994150, julho de 2011.

[IEC61850, 2005] _____, "IEC61850 - Communication networks and systems in substations", Parts 1 to 10, International Electrotechnical Commission, 2003-2005.

[IEC, 2012] _____, IEC - Core IEC Standard - on-line em <http://www.iec.ch/smartgrid/standards/>

[IEEE2030, 2011] IEEE Std 2030 IEEE Standard 2030 IEEE Guide for *Smart Grid* Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads. 10 de setembro de 2011.

[Januzaj et al., 2015] Y. Januzaj et al., "DBMS as a Cloud service: Advantages and Disadvantages." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 195 (2015): 1851-1859, DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.06.412, 2015.

[Jeju, 2010] Jeju Special Self-governing Province - *Smart Grid* Division, "Jeju *Smart Grid* Test-Bed", disponível em <http://smartgrid.jeju.go.kr>, acessado em 10 de Maio de 2011.

[John & Santhosam, 2014] A. John, I. Santhosam, "Home Energy Management System Based On ZigBee". *International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES)* ISSN, p. 2319-9598, 2014.

- [Jotsov & Sgurev, 2008] V. Jotsov, V. Sgurev, "Applications in intelligent systems of knowledge discovery methods based on human-machine interaction," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 23, no. 5, pp. 588–606, DOI: 10.1002/int.20285, 2008.
- [Kamilaris & Pitsillides, 2013] A. Kamilaris, A. Pitsillides, "Towards interoperable and sustainable *Smart Homes*," *IST-Africa Conf. Exhib. (IST-Africa)*, 2013, pp. 1–11, 2013.
- [Kanabar & Sidhu, 2011] M. G. Kanabar, T. S. Sidhu, "Performance of IEC 61850-9-2 Process Bus and Corrective Measure for Digital Relaying," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 26, no. 2, pp. 725–735, DOI: 10.1109/TPWRD.2009.2038702, April de 2011.
- [Keshtkar et al., 2015] A. Keshtkar et al. "Smart residential load reduction via fuzzy logic, wireless sensors, and *Smart Grid* incentives." *Energy and buildings*, v. 104, p. 165-180, DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.068, 2015.
- [Kim et al., 2017] D. Kim, A. Alaerjan, L. Lu, H. Yang, H. Jang, "Toward Interoperability of *Smart Grids*", *IEEE Communications Magazine*, P. 2 - 8, DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600392, 2017.
- [Komninos et al., 2014] N. Komninos, E. Philippou, and A. Pitsillides, "Survey in *Smart Grid* and *Smart Home* Security: Issues, Challenges and Countermeasures," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 16, no. 4, pp. 1933–1954, DOI: 10.1109/COMST.2014.2320093, 2014.
- [Kraijak & Tuwanut, 2015] S. Kraijak, P. Tuwanut, "A survey on IoT architectures, protocols, applications, security, privacy, real-world implementation and future trends," in *proc. of the 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, DOI: 10.1049/cp.2015.0714, September 2015.
- [Leccese, 2012] F. Leccese, "An overview on IEEE Std 2030". *Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering, DOI: 10.1109/EEEIC.2012.6221399, 18 a 25 mail de 2012.

- [Lee, 1990] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II," IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., vol. 20, no. 2, pp. 419–435, DOI: 10.1109/21.52552, 1990.
- [Lee et al., 2014] H. Lee, W.-K. Park, I.-W. Lee, "A home energy management system for energy-efficient *Smart Homes*," in Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 2014 International Conference on, vol. 2, pp. 142–145, DOI: 10.1109/CSCI.2014.109, 2014.
- [Leitte et al., 2015] J. Leitte et al., "Automadroid - Automação residencial com dispositivos móveis". Revista de Controle e Automação, v. 1, n. 1, 2015.
- [Letting et al., 2011] L. K. Letting, J. L. Munda, Y. Hamam, "Optimization of Fuzzy Logic Controller Design for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems," in Soft Computing in Green and Renewable Energy Systems, vol. 269, 2011, pp. 233–260.
- [Li et al., 2015] X. Li, L. Nie, S. Chen, D. Zhan, X. Xu, "An IoT Service Framework For *Smart Home*: Case Study On HEM", IEEE Softw., vol. 32, no. 3, pp. 6–6, DOI: 10.1109/MobServ.2015.66, 2015.
- [Lilly, 2010] J. H. Lilly, "Fuzzy Control and Identification". Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [Lino et al., 2011] P. Lino, P. Valenzuela, R. S. Ferreira, L. A. Barroso, B. Bezerra, M. V. Pereira, "Energy Tariff and Demand Response in Brazil: an Analysis of Recent Proposals from the Regulator", Conference on Innovative *Smart Grid* Technologies (ISGT Latin America), pág. 1-5, DOI: 10.1109/ISGT-LA.2011.6083207, de 19-21 de outubro de 2011.
- [Liu et al., 2017] F. Liu, C. Chen, Y. Kao, C. Hong, C. Yang, "Improved ZigBee module based on fuzzy model for indoor positioning system", 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), p.: 1331 - 1334, DOI: 10.1109/ICASI.2017.7988150, 2017.

- [Mahesh & Janake, 2010] S. Mahesh, E. Janake, “*Smart Grid - Technologies for its realisation*”, IEEE ICSET 2010, Kandy, Sri Lanka, DOI: 10.1109/ICSET.2010.5684954, 6 a 9 Dezembro de 2010.
- [Mamdani, 1974] E. H. Mamdani, “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant,” Proc. Inst. Electr. Eng., vol. 121, no. 12, p. 1585, DOI: 10.1049/piee.1974.0328, 1974.
- [Mamdani, 1977] Mamdani, “Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis,” IEEE Trans. Comput., vol. C-26, no. 12, pp. 1182–1191, DOI: 10.1109/TC.1977.1674779, Dec. 1977.
- [Marc et al., 2016] B. Marc et al. “IoT-Cloud Service Optimization in Next Generation Smart Environments.” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 34, n. 12, pp. 4077-4090, DOI: 10.1109/JSAC.2016.2621398, 2016.
- [Matias et al., 2010] U. Mathias, R. Sebastian, B. Robert, G. José, S. Michael, S. Thomas, W. Tobias, “Survey of *Smart Grid* Standardization Studies and Recommendations – Part 2”, Innovative *Smart Grid* Technologies Conference Europe (ISGT Europe), DOI: 10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638886, 2010.
- [McDaniel & McLaughlin, 2009] P. McDaniel, S. McLaughlin, “Security a Privacy Challenges in the *Smart Grid*”, IEEE Security & Privacy, pag 72-74, DOI: 10.1109/MSP.2009.76, maio de 2009.
- [MCTI, 2013] MCTI, Cnpq, Tecnologia em *Smart Grids*, 2013, On-line em: http://cnpq.br/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=encerradas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=3641
- [MDCI, 2016] MDIC, Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Conjunto Brasil-Reino Unido, 2016, On-line em: <http://www.cooperacaointernacional.mdic.gov.br/arquivo/download/1933>

- [Meltron & Ambrosio, 2010] R. B. Melton, R. F. Ambrosio, "Interoperability Checklist for Decision-Makers". IEEE Power and Energy Society General Meeting, DOI: 10.1109/PES.2010.5590183, 2010.
- [MME, 2010] MME, Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente - "*Smart Grid*", 2010, On-line em: <https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/213992-implantauuo-de-um-programa-brasileiro-de-rede-elutrica-inteligente-smart-grid-criar-grupo-de-trabalho-com-o-objetivo-de-analisar-e-identificar-aues-necessurias-para-subsidi.html>.
- [MussiToschi et al., 2017] G. MussiToschi, L. Campos. C. Cugnasca, "Home automation networks: A survey", *Computer Standards & Interfaces*, DOI:10.1016/j.csi.2016.08.008, Volume 50, February 2017, Pages 42-54, 2017.
- [Naaz et al., 2011] S. Naaz, A. Alam, and R. Biswas, "Effect of Different Defuzzification Methods in a Fuzzy Based Load Balancing Application," *Int. J. Comput. Sci. Issues*, vol. 8, no. 5, pp. 261–267, 2011.
- [Nelson & FitzPatrick, 2011] T. L. Nelson, G. J. FitzPatrick, "NIST role in the interoperable *Smart Grid*," in 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011, pp. 1–3, DOI: 10.1109/PES.2010.5589733, 2011.
- [Nepal et al., 2011] S. Nepal, S. Chen, J. Yao, D. Thilakanathan, "Diaas: Data integrity as a service in the cloud," in *Proceedings of the 2011 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing*, ser. CLOUD '11. IEEE Computer Society, 2011, pp. 308–315, DOI: 10.1109/CLOUD.2011.35, 2011.
- [NIST, 2014] National Institute of Standards and Technology, "NIST Special Publication 1108R3 – NIST Framework and Roadmap for *Smart Grid* Interoperability Standards", Release 3.0, USA, DOI:10.6028/NIST.SP.1108r3, Setembro de 2014.
- [Patchava, 2015] V. Patchava, H. B. Kandala, P. R. A. Babu, "*Smart Home* Automation technique with Raspberry Pi using IoT." In: *Smart Sensors and*

- Systems (IC-SSS), International Conference on. IEEE, p. 1-4, DOI: 10.1109/SMARTSENS.2015.7873584, 2015.
- [Patel et al., 2016] P. Patel, M. Patel, V. Panchal, "Home Automation Using Internet of Things", Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR), Vol-2, Issue-5, pp. 1-6, 2016.
- [Patel & Champaneria, 2016] A. Patel and T. A. Champaneria. "Fuzzy logic based algorithm for Context Awareness in IoT for *Smart Home* environment." In: Region 10 Conference (TENCON) IEEE, p. 1057-1060, DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848168, 2016.
- [Piatkowska et al., 2017] E. Piatkowska, L. Bayarri, L. Garcia, K. Mavrogenou, K. Tsatsakis, M. Sanduleac, P. Smith, "Enabling Novel *Smart Grid* Energy Services with the Nobel Grid Architecture", IEEE Manchester PowerTech, Manchester, United Kingdom, United Kingdom, do:10.1109/PTC.2017.7981218, 2017.
- [Rashid & Han, 2016] M. A. Rashid, X. Han, "Gesture control of ZigBee connected *Smart Home* Internet of Things." In: Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), 2016 5th International Conference on. IEEE, p. 667-670, DOI: 10.1109/ICIEV.2016.7760085, 2016.
- [Rêgo, 2016] L. Rêgo, "Estratégia para Predição de Consumo de Energia Elétrica de Curto Prazo: Uma Abordagem Baseada Em Densificação com Mean Shift Para Tratamento de Dias Especiais", tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFPA, 2016.
- [Ruihua et al., 2010] Z. Ruihua, D. Yumei e L. Yuhong, "New Challenges to Power System Planning and Operation of *Smart Grid* Development in China", International Conference on Power System Technology, China, DOI: 10.1109/POWERCON.2010.5666114, Outubro de 2010.
- [Russel & Norvig, 2013] S. Russel, P. Norvig, "Artificial Intelligence – a modern approach". Prentice-Hall (2013).

- [Schinle et al., 2017] M. Schinle, J. Schneider, T. Blöcher, J. Zimmermann, S. Chiriac, W. Stork, "A Modular Approach for *Smart Home* System Architectures Based on Android Applications", 5th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud), Pages: 153 - 156, DOI: 10.1109/MobileCloud.2017.20, 2017.
- [Schossig, 2010] T. Schossig, "Testing in IEC 61850 - advanced topics and extended possibilities," Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change, 10th IET International Conference on , vol., no., pp.1-4, DOI: 10.1049/cp.2010.0233, Abril de 2010.
- [Shaomina et al., 2012] Z. Shaomina, Z. Jinchongb, W. Baoyic, "Study on *Middleware* of data collection based on IEC61970 and RFID technology in *Smart Grid*", 2nd International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), DOI: 10.1109/CARPI.2012.6356273, 2012.
- [Sharma, 2011] D. Sharma, "Designing and Modeling Fuzzy Control Systems," Int. J. Comput. Appl., vol. 16, no. 1, pp. 46–53, Feb. 2011.
- [Shoji et al., 2014] T. Shoji, W. Hirohashi, Y. Fujimoto, Y. Hayashi, "Home energy management based on Bayesian network considering resident convenience," in 2014 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), pp. 1–6, DOI: 10.1109/PMAPS.2014.6960597, 2014.
- [Shudong et al., 2010] C. Shudong, L. Johan, Z. Liang. Service-oriented Advanced Metering Infrastructure for *Smart Grids*. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific. 28-31 de março de 2010.
- [Soliman et al., 2013] M. Soliman, T. Abiodun, T. Hamouda, J. Zhou, C. Lung, "*Smart Home*: integrating internet of things with web services and cloud computing," in Proc. IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, Bristol, pp. 317 - 320, DOI 10.1109/CloudCom.2013.155, Dec. 2013.

- [Souza, 2014] J. Souza, "Desenvolvimento de um sistema fuzzy embarcado para controle de iluminação". Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática, Belo Horizonte, MG, 2014.
- [Stjepan et al., 2012] S. Stjepan, B. Bernard, G. Laurent, "Standards-compliant Event-driven SOA for Semantic-enabled *Smart Grid* Automation: Evaluating IEC 61850 and DPWS Integration", IEEE International Industrial Technology (ICIT), pag.403-408, DOI: 10.1109/ICIT.2012.6209971, 2012.
- [Stojkoska & Trivodaliev, 2017] B. Stojkoska, K. Trivodaliev, "A review of Internet of Things for *Smart Home*: Challenges and solutions," J. Clean. Prod., vol. 140, pp. 1454–1464, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.006, 2017.
- [Sugeno, 1999] M. Sugeno, "On stability of fuzzy systems expressed by fuzzy rules with singleton consequents," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 7, no. 2, pp. 201–224, DOI: DOI: 10.1109/91.755401, 1999.
- [Takagi & Sugeno, 1985] T. Takagi, M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," Syst. Man Cybern. IEEE Trans., vol. SMC-15, no. 1, pp. 116–132, DOI: 10.1109/TSMC.1985.6313399, 1985.
- [Tanaka & Wang, 2001] K. Tanaka, H. O. Wang, "Fuzzy Control Systems Design and Analysis". New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [Taylor et al., 2017] J. Taylor, H. Hossain, M. Alam; M. Khan, N. Roy, E. Galik; A. Gangopadhyay, "SenseBox: A low-cost *Smart Home* system". In: Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2017 IEEE International Conference on. IEEE, p. 60-62, DOI: 10.1109/PERCOMW.2017.7917522, 2017.
- [Tiwari et al., 2015] S. Tiwari, A. Sewaiwar, Y. Chung, "*Smart Home* technologies using visible light communication". In: Consumer Electronics (ICCE), 2015 IEEE International Conference on. IEEE. p. 379-380, DOI: 10.1109/ICCE.2015.7066453, 2015.

- [Varga et al., 2011] E. Varga, I. Lendak, M. Gavrić, A. Erdeljan, "Applicability of RESTful web services in control center software integrations," 2011 Int. Conf. Innov. Inf. Technol. IIT 2011, pp. 282–286, DOI: 10.1109/INNOVATIONS.2011.5893833, 2011.
- [Vehbi et al., 2011] G. Vehbi, S. Dilan, K. Taskin, E. Salih, B. Concettina, C. Carlo, H. Gerhard. "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards", IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, DOI: 10.1109/TII.2011.2166794, 2011.
- [Villa et al., 2011] D. Villa, C. Martín, F. J. Villanueva, F. Moya, J.C. López. "Middleware-based management for Smart Grids. Consumer Electronics", 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics. Pages: 545 - 546, DOI: 10.1109/ICCE.2011.5722730, 9-12 de janeiro de 2011.
- [Virant, 2000] J. Virant, "Fuzzy Operations and Relations," in Design Considerations of Time in Fuzzy Systems, Boston, MA: Springer US, 2000, pp. 19–45.
- [Walek et al., 2014] B. Walek, J. Zacek, M. Janosek, R. Farana, "Adaptive fuzzy control of thermal comfort in smart houses," in Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 675–678, DOI: 10.1109/CarpathianCC.2014.6843690, 2014.
- [Ward et al., 2008] S. Ward, W. Higinbotham, E. Duvelson, A. Saciragic, "Inside the Cloud - Network Communications Basics for the Relay Engineer," Protective Relay Engineers, 2008 61st Annual Conference for , vol., no., pp.273-303, DOI: 10.1109/CPRE.2008.4515060, 1-3 de abril de 2008.
- [Wang et al., 2017] H. Wang, S. Liu, L. Jiang, P. Liu, B. Gu, "Building a Policy Simulation Platform for Future Smart Grid in China", 2017 14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), p.: 242 - 247, DOI: 10.1109/CCNC.2017.7983112, 2017.
- [Wu et al., 2017] S. Wu, J. B. Rendall, M. J. Smith, S. Zhu, J. Xu, H. Wang, Q. Yang, P. Qin, "Survey on Prediction Algorithms in Smart Homes", IEEE Internet of

Things Journal, Vol. 4, Pages: 636 - 644, DOI: 10.1109/JIOT.2017.2668061, 2017.

[Xue-song et al., 2010] Z. Xue-song, C. Li-qiang e M. You-jie, "Research on *Smart Grid* Technology", International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), Taiyuan - China, DOI: 10.1109/ICCASM.2010.5620576, 2010.

[Zadeh, 1965] L. A. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Inf. Control, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.

[Zaslavsky et al., 2013] A. Zaslavsky et al., "Sensing as a service and big data" arXiv preprint arXiv:1301.0159 (2013).

[Zhou & Rodrigues, 2013] L. Zhou, "Service-oriented *middleware* for *Smart Grid* Principle, infrastructure, and application", Communication Magazine, vol 51, pag 84-89, DOI: 10.1109/MCOM.2013.6400443, janeiro de 2013.