



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

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**SÉRGIO HENRIQUE MONTE SANTO ANDRADE**

**ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO  
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ABORDAGEM BASEADA  
EM SMART HOME E SISTEMAS FUZZY**

**DM: 29/2017**

**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**

**SÉRGIO HENRIQUE MONTE SANTO ANDRADE**

**ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO  
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ABORDAGEM BASEADA  
EM SMART HOME E SISTEMAS FUZZY**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como quesito à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica - Área de Concentração: 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**

**ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO  
RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA: UMA ABORDAGEM BASEADA  
EM SMART HOME E SISTEMAS FUZZY**

AUTOR: SÉRGIO HENRIQUE MONTE SANTO ANDRADE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

Professor. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês - UFPA

**ORIENTADOR**

---

Professor Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar

**MEMBRO EXTERNO LAC/INPE**

---

Professor Dr. Diego Lisboa Cardoso

**MEMBRO INTERNO PPGEE/UFPA**

---

Professor Dr. Marcelino Silva da Silva

**MEMBRO INTERNO PPGEE/UFPA**

Visto:

---

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

**COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA**

Dedico este trabalho aos meus amados pais, avôs, avós e ao José de Aritméia (*in memoriam*).

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Deus, por sua misericórdia, amor infinito e a todos que, lá de cima, olham por mim.

Aos meus pais Francisco Sergio Andrade e Fernanda Monte Santo, por todo o incentivo, sabedoria, amor e compreensão, que sempre posso encontrar em seus conselhos e abraços.

Ao meu irmão Paulo Moncherry, por toda paciência e amizade nos momentos em que mais precisei.

Ao meu amigo e companheiro de trabalho Edgard Contente, por toda a sua compreensão nos momentos em que tive que me ausentar.

Aos meus irmãos Paula Fernanda Andrade e Lucas Brito Monte Santo que, mesmo distantes, sei que rezam, torcem e querem meu bem.

A todos os meus familiares, pela presença e apoio constante.

Ao meu prezado orientador Carlos Renato Lisboa Francês, pela confiança e oportunidade de ter me acolhido como orientado. Ao meu co-orientador Edvar Oliveira, pelas incansáveis correções e paciência no decorrer do mestrado. Pela oportunidade de participar das atividades do Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho (LPRAD) e pelo exemplo a ser seguido.

A todos os amigos do LPRAD, Anderson Souto, Rodrigo Alfaia, Tássio, Seruffo e Marcelino, pela ajuda constante. Especialmente à Evelin Cardoso pela sempre pronta ajuda com o meu crescimento.

Aos professores do PPGEE, pela a honra de tê-los como mestres. A eles que contribuíram não somente para a minha formação técnica, mas também pessoal. A todos os colegas de mestrado, pela troca de conhecimento e apoio mútuo.



“Eu sempre tive sorte. Mas a maior, foi ter pessoas especiais no meu caminho”

**Sergio H.M.S. Andrade**

## Sumário

Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tabelas .....	XI
Resumo .....	XII
Abstract.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Motivação.....	15
1.2 Objetivo.....	21
1.3 Organização da Dissertação .....	21
2. SMART HOME E SMART GRIDS .....	23
2.1 Considerações Iniciais.....	23
2.2 A essência das <i>Smart Homes</i> .....	23
2.3 <i>Smart Homes</i> nas <i>Smart Cities</i> .....	25
2.4 Sistema Energético em Residências Inteligentes e a <i>Smart Grid</i> .....	27
2.5 <i>Smart Meters</i> .....	29
2.6 <i>Smart Sensors</i> .....	30
2.7 <i>Smart Appliances</i> .....	32
2.8 Considerações Finais.....	33
3. TRABALHOS RELACIONADOS .....	35
3.1 Considerações Iniciais .....	35
3.2 Arquiteturas Baseadas em Manejo de Carga .....	35
3.3 Arquiteturas Baseadas em Manejo de Carga e Conforto .....	37
3.4 Condiderações Finais.....	40
4. SMARTCOM - Arquitetura Inteligente para Gerenciamento de Consumo para <i>Smart Homes</i> .....	41
4.1 Considerações Iniciais .....	41
4.2 Arquitetura SmartCoM .....	42
4.3 Escolha da técnica de inteligência computacional.....	45
4.4 <i>Overview</i> da Teoria da Lógica <i>Fuzzy</i> .....	47
4.4.1 Função de pertinência e regras <i>Fuzzy</i> .....	47
4.4.2 Estrutura de um Controlador <i>Fuzzy</i> .....	49
4.5 SmartCoM: Sistema <i>Fuzzy</i> .....	50
4.5.1 SmartCoM: Sistema <i>Fuzzy</i> – Entradas .....	51
4.5.2 SmartCoM: Sistema <i>Fuzzy</i> – Base de Regras e Inferência .....	53
4.5.3 SmartCoM: Sistema <i>Fuzzy</i> – Saída.....	54
4.6 SmartCoM: Análise de Conforto .....	56
4.6.1 SmartCoM: Análise de Conforto – Ranqueamento .....	56
4.6.2 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 01 .....	57
4.6.3 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 02 .....	58
4.6.4 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 03 .....	60
4.7 Considerações Finais .....	60

5. ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS.....	61
5.1 Considerações Iniciais .....	61
5.2 Pesquisa de Campo .....	61
5.2.1Resultado da pesquisa de campo.....	65
5.3 Aplicação da fórmula ICon nos resultados obtidos .....	66
5.4Resultados dos perfis .....	66
5.4.1Perfil 01 .....	66
5.4.2Perfil 02 .....	67
5.4.3Perfil 03 .....	68
5.4.4Tabela comparativa na base do tempo .....	68
5.4.5Controle do usuário via celular .....	69
5.5Considerações Finais .....	70
6. CONCLUSÕES .....	71
6.1 Contribuições da dissertação.....	71
6.2Trabalhos Futuros .....	72
6.3Dificuldades Encontradas .....	73
Referências.....	75

## Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição tradicional de energia elétrica [10] .....	16
Figura 2. O perfil de consumo de energia para um consumidor residencial típico brasileiro [11]. .....	16
Figura 3. A evolução da rede tradicional (superior) para a rede inteligente (inferior), adaptado de [14]. .....	18
Figura 4. Desenho esquemático da Smart Home na Smart Grid [20]. .....	19
Figura 5. Conceito do <i>Smart Home</i> [28]. .....	25
Figura 6. A <i>Smart Home</i> como parte integral das <i>Smart Citys</i> , adaptado de [32]. .....	27
Figura 7. Visão geral do conceito Smart Grid [37]. .....	29
Figura 8. Componentes fundamentais para SERI. ....	31
Figura 9. Utensílios de uma <i>Smart Home</i> [46]. .....	33
Figura 10. Ordem dos equipamentos ranqueados pelo usuário. Adaptado de [51]. .....	37
Figura 11. Diagrama de Bloco do SmartCoM[53]. .....	43
Figura 12. Função de Pertinência Trapezoidal.....	48
Figura 13. Função de Pertinência Triângular. ....	48
Figura 14. Estrutura básica de um sistema de controle fuzzy. ....	49
Figura 15. Defuzzificação tipo Centro de Área [79]. .....	50
Figura 16. Entrada “Índice de Consumo” no sistema <i>fuzzy</i> . .....	52
Figura 17. Entrada “% mês” no sistema <i>fuzzy</i> . ....	53
Figura 18. Regras do sistema <i>fuzzy</i> . .....	54
Figura 19. Saída “Consumo Excedido” no sistema <i>fuzzy</i> . ....	55
Figura 20. Overview do sistema <i>fuzzy</i> . ....	55
Figura 21. Exemplo 1 perfil 01. ....	57
Figura 22. Exemplo 2 - perfil 01. ....	58
Figura 23. Perfil 02. ....	59
Figura 24. Pesquisa realizada 1/6. ....	62
Figura 25. Pesquisa realizada 2/6. ....	62
Figura 26. Pesquisa realizada 3/6. ....	63
Figura 27. Pesquisa realizada 4/6. ....	63
Figura 28. Pesquisa realizada 5/6. ....	64
Figura 29. Pesquisa realizada 6/6. ....	64

Figura 30. Média dos dados obtidos no questionamento com equipamentos não reordenados. ....	65
Figura 31. Equipamentos reordenados baseados na fórmula ICon.....	66
Figura 32. Resultado após a utilização do perfil 01. ....	67
Figura 33. Resultado após a utilização do perfil 02. ....	67
Figura 34. Resultado após a utilização do perfil 03. ....	68
Figura 35. Vizualização da ação do perfil na tela de um <i>smartphone</i> . ....	70

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1. Tabela comparativas entre artigos correlatos. ....	38
Tabela 2. Redução de consumo na base do tempo após os perfis 01, 02, 03. ....	69

## Resumo

O consumo energético residencial vem crescendo de forma contínua ao longo das últimas décadas, em contrapartida, o fornecimento de energia elétrica não acompanha a mesma taxa de crescimento, tornando-se uma dificuldade a ser tratada pelas empresas do setor elétrico, aos consumidores e ao próprio meio ambiente. Os sistemas de distribuição existentes não são suficientes e possuem limitações no fornecimento de informação adequada, em tempo real, sobre o consumo e outras variáveis elétricas. Também não estão preparados para lidar com custos da energia variáveis, num contexto de um mercado que tende a estabelecer preços dinâmicos, que dependem de um conjunto de fatores endógenos e exógenos ao setor elétrico.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo a proposição, implementação e teste de um sistema de monitoramento inteligente, via *smartphone*, para controle de energia, utilizando-se formas inteligentes de tomada de decisão, com o intuito de fornecer ao usuário formas de manter seu consumo energético, a partir de perfis de consumo, dentro dos padrões de consumo pré-definidos e desejados pelo usuário.

Como consequências positivas, ter-se-á a redução da demanda energética, por meio dos perfis de consumo que levam em consideração o grau de dependência do indivíduo em relação aos equipamentos elétricos presente na residência, apresentando um menor impacto no bem-estar e no dia a dia do usuário final do sistema.

**Palavras-Chave:** Smart Home, Smart Grids, Lógica Fuzzy, Conforto Ambiental, Internet das Coisas

## **Abstract**

Residential energy consumption has grown steadily over the last decades, becoming a problem for companies in the electricity sector, for consumers and for the environment. The traditional measurement systems are not sufficient and have limitations in providing adequate real-time information about consumption. As also, they are not prepared to deal with variable energy costs in the context of a market with dynamic prices that depend on the energy mix.

The future of electric grid, called Smart Grid, will not only be designed with measurements based on the residences, but also on the individualized equipment consumption level. From the residential side, consumers generally suffer from a lack of information on the specific equipment energy consumption impact and, consequently, on the required behavior to reduce its consumption.

In this context, this work aims on a smartphone monitoring system concept, to control energy using fuzzy logic, in order to provide to the user ways to maintain his energy consumption, through consumption profiles, within the user-defined consumption patterns.

The energy reduction demand through the consumption profiles working with habitant dependence degree on the electrical equipment present in the residence, promote a smaller impact on inhabitant well-being and the daily life.

**Keywords:** Smart Home, Digital Home, Smart Grid, Fuzzy Logic, Comfort, Intelligent Decision Technique, Ambience Intelligence, Internet of Things.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de todo o avanço tecnológico observado nas últimas décadas, o setor de energia é, de certa forma, um sistema que possui uma inércia maior a mudanças tecnológicas significativas. As *Smart Grids* têm potencial para inserir novas tecnologias de medição, automação e telecomunicações na rede elétrica [1][2][3]. A implementação desta complexa infraestrutura produz ganhos de confiabilidade, eficiência e segurança operacional. Além disso, pode fornecer novos modelos de negócios decorrentes do novo papel dos consumidores residenciais e comerciais neste novo cenário.

A falta de investimento por parte das concessionárias energéticas em infraestrutura de transmissão inteligente faz com que consumidores e as próprias operadoras não possuam informações vitais para um controle melhor da sua demanda mensal de consumo.

No modelo tradicional de prestação de serviços, o consumidor tem um papel meramente passivo, recebendo o fornecimento de eletricidade, sendo cobrado por isso e pagando o distribuidor pela energia consumida em um determinado período. Com o advento das *Smart Grids*, o consumidor começa a participar ativamente, sendo capaz de monitorar seu consumo em tempo real e controlar isso com base em um perfil de consumidor [4]. Outra novidade é a possibilidade de o consumidor contribuir para o fornecimento de energia, entregando qualquer excesso de eletricidade auto-gerada para a rede. Nesta nova relação entre o consumidor e o distribuidor, em que a eletricidade e a informação fluem em ambos os sentidos, o envolvimento e a aceitação do consumidor são essenciais [5], para que se possa atingir os objetivos pretendidos. É importante ressaltar que para o bom funcionamento do diálogo entre fornecedor e consumidor, alguns pontos devem ser levados em consideração, tais como:

- Estabelecer um canal de comunicação eficiente e transparente entre as partes, que dê aos consumidores um acesso rápido e fácil aos serviços e à informação;
- Permitir que os distribuidores monitorem o comportamento de seus consumidores usando métodos como os propostos em [6] e [7];
- Garantir a segurança e a privacidade dos consumidores [8].

Tendo em consideração que os projetos de *Smart Grids* previsto no Brasil são de médio e longo prazo, a ideia de transformar residências comuns em lares inteligentes (*Smart Homes*), vem cada dia mais ganhando novos adeptos na tentativa de controlar suas despesas, como energéticas, gás, etc [9].

Devido aos atuais preços na energia, a conservação dos recursos se tornou parte do dia a dia das pessoas. Desta forma, se um usuário tiver a possibilidade de controlar a sua casa remotamente por meio de automação, este poderá reduzir o consumo de energia e, assim, reduzir as suas despesas ao implementar técnicas computacionais que visam um consumo energético mais racional e sem desperdício. Além disso, a sustentabilidade ambiental, no âmbito residencial, ganhou relevância nos últimos anos, de forma que se os moradores de certa residência estiverem ausentes, não há necessidade do ar condicionado e outros eletrodomésticos que não necessitam estar ligados, permaneçam ligados. O mesmo princípio se aplica à iluminação, aquecimento e outros aparelhos. Alguns sistemas de automação presentes em *Smart Homes* interrompem o fornecimento energético de equipamentos elétricos, caso não estejam sendo utilizados.

Além disso, existem várias tecnologias diferentes para a implementação dessas *Smart Homes*. Alguns padrões utilizam protocolos complexos de comunicação com o sistema de controle sendo todo cabeado, enquanto que outros contam com sinais incorporados no circuito de potência existente da casa.

## **1.1 Motivação**

A principal motivação para o surgimento do conceito *Smart Grid* é a otimização e a maior eficiência do uso da rede elétrica. Tradicionalmente, quatro etapas principais compõem a cadeia de fornecimento de energia: Geração, Transmissão, Distribuição e Consumo. Este processo pode ser visto na Figura 1, para um melhor entendimento. Uma pequena quantidade de usinas de grande porte, que normalmente estão distantes dos usuários finais, geram energia. A energia gerada é transportada pelo sistema de transmissão em tensões muito elevadas para os centros de consumo, onde a rede de distribuição fornece a potência a tensões mais baixas para os utilizadores finais.

O sistema de alimentação não é projetado de forma otimizada. A geração de energia, via de regra, está concentrada e longe dos centros de consumo, o que produz consideráveis perdas ao longo do transporte, a partir das redes de transmissão e de distribuição. Além disso, a grade de distribuição atual é projetada considerando apenas a carga máxima provável do sistema, ou seja, toda a grade é superdimensionada para demanda de pico que ocorre em um curto intervalo durante o dia, como mostrado na Figura 2, que representa a contribuição horária do consumo energético de cada aparelho para um consumidor típico no Brasil.

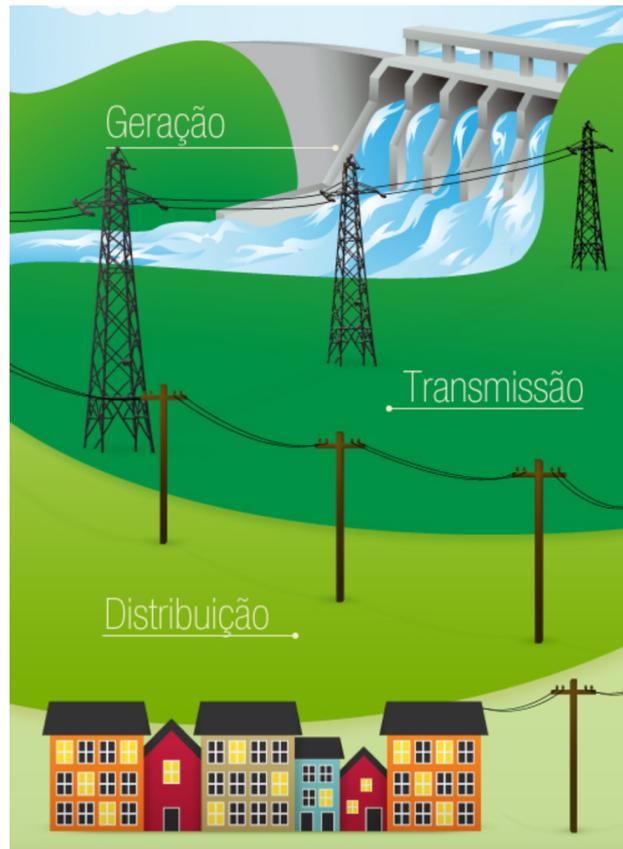


Figura 1. Distribuição tradicional de energia elétrica [10]

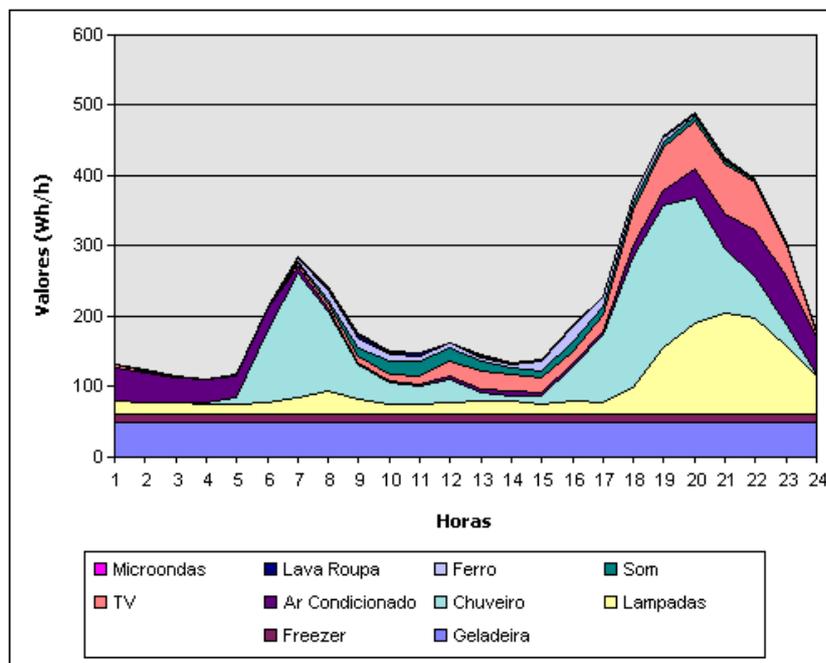


Figura 2. O perfil de consumo de energia para um consumidor residencial típico brasileiro [11].

O sistema de energia do futuro incorporará sistemas avançados de monitoramento e controle que melhorarão as operações e a confiabilidade do sistema [12]. O conceito *Smart Grid* foi introduzido pela primeira vez pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e pode ser definido da seguinte forma:

*“A rede inteligente é um sistema de fornecimento de eletricidade aprimorado com facilidades de comunicação e tecnologias de informação para permitir uma operação de rede mais eficiente e confiável com um serviço ao cliente aprimorado e um ambiente mais limpo”* [13].

Assim, *Smart Grid* significa a inserção integrada de equipamentos eletrônicos, sistemas de comunicação e ferramentas computacionais para melhorar o desempenho da rede elétrica em relação à produtividade, eficiência, qualidade e questões ambientais. Esta infraestrutura avançada integrará aplicações normalmente implementadas nos atuais sistemas de transmissão de energia ao sistema de distribuição de energia, que também inclui o controle de aparelhos de clientes e geração distribuída. A evolução proporcionada pela integração dos elementos da rede elétrica através da infraestrutura *Smart Grid* pode ser vista na Figura 3, onde se pode observar a inserção de equipamentos eletrônicos de medição e comunicação por meio de todos os atores da cadeia de fornecimento de energia, fluxo de electricidade e informação.

A *Smart Grid* considera a instalação de equipamentos para medição e comunicação em toda a cadeia de abastecimento de energia, como também pode ser observado na Figura 3. A integração de todos os componentes em uma única plataforma que une dados de medição e um sistema de comunicação robusto, possibilitará o ótimo funcionamento da rede elétrica [14].

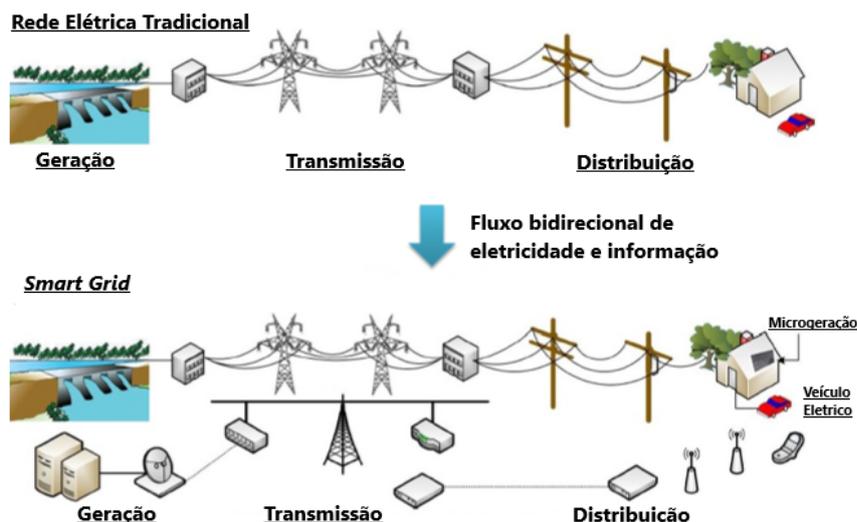


Figura 3. A evolução da rede tradicional (superior) para a rede inteligente (inferior), adaptado de [14].

Este novo cenário sugere uma participação mais ativa dos consumidores na gestão completa da rede elétrica, levando ao conceito de *Demand Side Management* (DSM) [15]. Este conceito está relacionado à forma como os consumidores pagam pela utilização da energia (Tarifa Energética Diferenciada) e à possibilidade de os consumidores gerarem sua própria energia (Geração Distribuída), a fim de proporcionar uma operação de rede elétrica mais otimizada. A gestão da fonte de energia considerando a resposta da demanda, correlaciona as ações dos usuários finais com a disponibilidade de energia, sejam ações de consumo de energia ou injeção na rede elétrica.

Os efeitos dessas mudanças na rede de distribuição estão sob ampla discussão, considerando-se especialmente a resposta do mercado à diferença no preço da energia para consumidores residenciais [16][17][18][19]. As casas tradicionais são simplesmente solicitantes de energia, isto é, estão conectadas à rede elétrica e apenas solicitam a quantidade exata de energia toda vez que precisam. O fluxo de energia através da rede elétrica segue o comportamento do consumidor mostrado na Figura 2. Neste sentido, todo o sistema de energia é superdimensionado para atender a demanda de energia por um período muito curto, aumentando os custos de toda a cadeia de fornecimento de energia. O *Smart Grid* representa uma importante mudança de paradigma, pois os consumidores irão contribuir diretamente para a inserção de energia na rede, o que tem importantes consequências técnicas e econômicas.

A implementação destas novas funcionalidades possibilita o surgimento de um conceito de casa nova que está completamente integrado ao futuro sistema de energia: O *Smart Home*. Este conceito possibilitará o gerenciamento completo de energia das casas

tradicionais, resultando em benefícios para o consumidor e para o sistema de energia. Este conceito é ilustrado na Figura 4.

Como se pode ver também na Figura 4, a casa recebe energia da rede elétrica e de seu próprio sistema de microgeração; esta energia é usada para atender a demanda doméstica ou pode ser vendida ou armazenada para uso futuro. O Sistema de Gestão de Energia toma todas as decisões em um *Smart Home*.

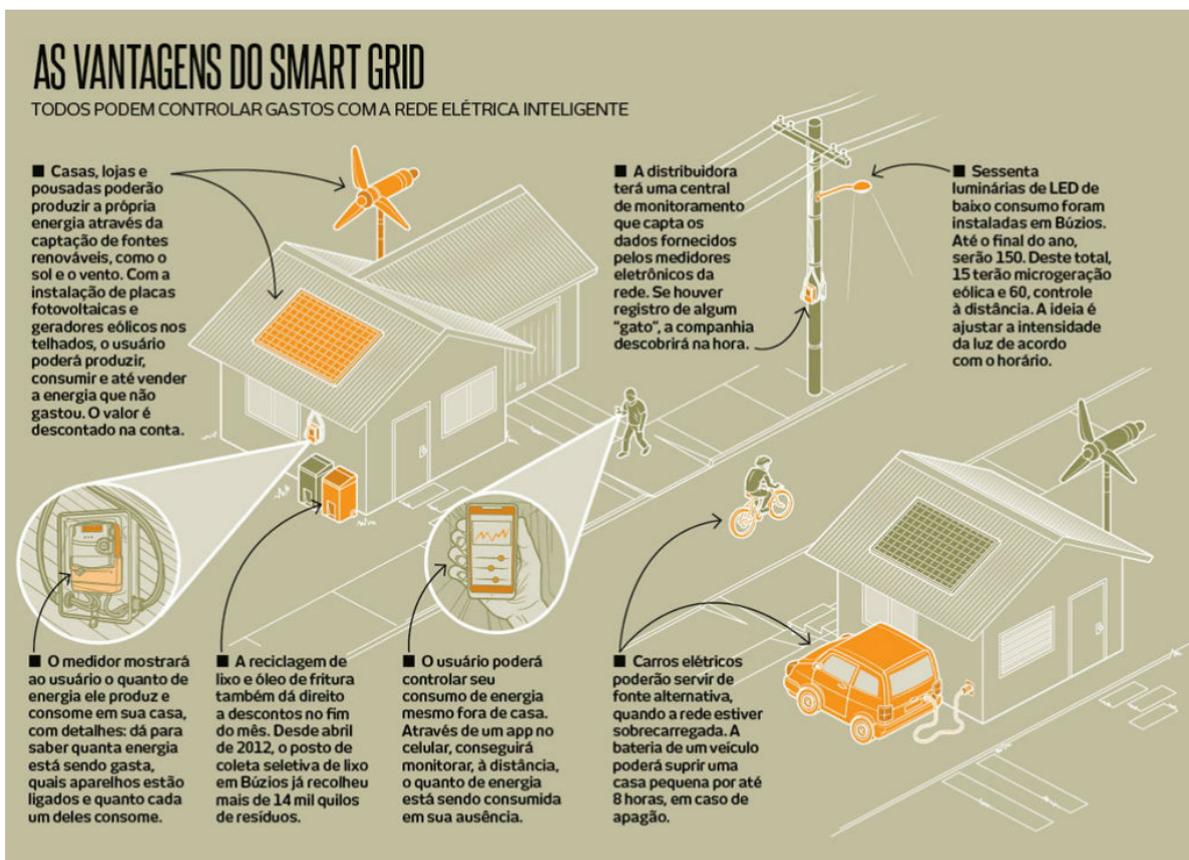


Figura 4. Desenho esquemático da Smart Home na Smart Grid [20].

O *Smart Home* segue os propósitos da *Smart Grid* e é composto de cinco princípios principais:

- **Microgeração:** Geração de energia através de fontes alternativas, como solar e eólica;
- **Armazenamento de Energia:** Uso de equipamentos com baterias recarregáveis ou carros elétricos para armazenar energia quando for conveniente;
- **Controle da Demanda:** Automatizar o uso de eletroeletrônicos residenciais, com intuito de reduzir a conta energética;
- **Fluxo Bidirecional:** Utilizando um *Smart Meter*, a *Smart Home* insere ou consome energia elétrica na *Smart Grid*;

- **Tarifa Diferenciada:** Em alguns países, a tarifação energética muda a cada período do dia baseada na demanda energética, induzindo o consumidor a evitar utilizar seus eletrodomésticos em períodos de pico.

A *Smart Home* é descrita como uma residência que é capaz de gerar e armazenar sua própria energia. Além disso, ela pode usar eletricidade da concessionária elétrica ou, quando a geração de energia excede o consumo energético em um dado período, o consumidor ainda pode vender o excedente no mercado de energia, lucrando com ele. Neste novo cenário, o consumidor também é submetido a uma tarifa diferenciada, ou seja, o preço da eletricidade é maior durante o pico da demanda e é menor durante o período fora de pico. Este cenário econômico induz o consumidor residencial a usar eletricidade da rede elétrica durante o período fora de pico e a inserir energia na rede elétrica durante o período de pico em que o preço é maior.

Nesse sentido, considerando que o preço da energia é variável durante o dia, que a geração através de fontes alternativas não é constante durante o dia e que o consumidor pode armazenar energia usando dispositivos de armazenamento, intui-se que a otimização do balanço energético de uma residência tem uma dinâmica complexa. Assim, é necessário desenvolver um Sistema de Apoio à Tomada de Decisão (SATD) que funcione como um Sistema de Gestão de Energia (SGE), visando a minimizar a conta de eletricidade do usuário (ou maximizar o lucro do usuário) em um dado período.

Um Sistema de Apoio à Tomada de Decisão (SATD) [19], é definido como um sistema com inteligência computacional, que ajuda os usuários a alcançar objetivos específicos em processos de tomada de decisão individuais ou organizacionais. Em geral, os SATDs ajudam os níveis de gerenciamento, planejamento e operação, dependendo dos graus de liberdade do usuário. Os SATDs encontraram aplicação em muitas áreas, por exemplo, suporte à decisão clínica para diagnóstico médico [21], aplicações de *business intelligence* [22], produção agrícola [23], entre outros.

O SATD evoluiu para o Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisão (SIATD), onde os conceitos de Inteligência Artificial (IA) melhoram a robustez do SATD [24][25]. Como resultado, surgiu um novo conjunto de aplicações em diferentes áreas, aumentando a importância desses sistemas para resolver problemas de otimização que são difíceis para os seres humanos.

## 1.2 Objetivo

Diante do exposto, o objetivo precípua desta dissertação é a proposição e o desenvolvimento de uma técnica para o equilíbrio energético de uma residência, denominado por Sistema Energético Residencial Inteligente (SERI), dentro do contexto SIATD, que atue no gerenciamento energético de casas inseridas no ambiente *Smart Grid*: as *Smart Homes*. A integração de usuários finais na gestão de suprimentos de energia é uma das bases do conceito *Smart Grid* e representa uma mudança de paradigma, considerando-se que atualmente eles têm uma participação mais ativa na operação da rede elétrica. A implantação de uma rede elétrica mais inteligente e colaborativa melhora a eficiência do sistema usando a energia disponível de uma forma mais sustentável, o que não é uma realidade no modelo tradicional usado para fornecimento de energia.

O objetivo específico desta pesquisa, é desenvolver uma técnica inovadora baseada em lógica *fuzzy*, com o qual possa aprender os comportamentos do usuário e, desta forma, possibilitar a otimização consumo energético de uma *Smart Home*, através de perfis.

Os perfis têm na sua concepção, propor ao usuário três métodos diferentes para equilíbrio do consumo energético em caso este seja extrapolado. Os perfis permitirão ao usuário, analisar seu consumo energético atual excedido, bem como a previsão de consumo após a ação da técnica presente em cada um dos três.

Baseado na relação entre equipamentos eletroeletrônicos e o conforto proporcionado por estes ao usuário, os métodos para redução energética presentes nos perfis, visam à redução do consumo sem causar impacto no bem-estar do consumidor.

A análise do bem-estar do usuário se baseará na relação entre o tempo de utilização dos eletrodomésticos presentes na residência, com a repetição do uso destes. Esse entendimento se faz necessário ao visar uma abordagem mais ampla sobre os fatores que influenciam na interdependência consumidor e eletrodomésticos.

## 1.3 Organização da Dissertação

Este documento está dividido como segue:

- Capítulo 2: Neste capítulo é realizada uma revisão a respeito dos principais conceitos acerca das *Smart Homes*, *Smart Grid*, *Smart Appliances*, bem como apresenta as tecnologias envolvidas, os padrões e requisitos das aplicações, provendo as informações necessárias para a boa compreensão do estudo realizado.

- Capítulo 3: Apresentam-se os trabalhos relacionados ao estudo de caso desta dissertação, abordando-se, sobretudo, os desafios associados à implementação de uma estratégia para redução do consumo energético mantendo o bem-estar do usuário.
- Capítulo 4: Neste capítulo são introduzidos e apresentados os conceitos fundamentais do *middleware* estudado (SmartCoM), tais como a sua arquitetura, a escolha da técnica de inteligência computacional para implementação, e uma visão panorâmica da lógica *fuzzy*. Neste capítulo também se faz presente o estudo abordado sobre a interrelação entre conforto e usuário.
- Capítulo 5: Este capítulo traz a metodologia proposta e o estudo de caso realizado. São apresentadas também as ferramentas matemáticas e cada uma das etapas da metodologia é descrita de forma detalhada. Na parte final deste capítulo, são feitas as análises dos resultados obtidos, bem como as principais considerações.
- Capítulo 6: Neste capítulo, são feitas as considerações finais sobre os temas abordados na proposta do trabalho, apontando as dificuldades encontradas e os possíveis desdobramentos em trabalhos futuros.

## 2. SMART HOME E SMART GRIDS

### 2.1 Considerações Iniciais

A casa é um ambiente para pessoas ou famílias se sentirem seguros, relaxados e satisfeitos. Assim, influencia diretamente na qualidade de vida dos seus moradores.

A maior parte das necessidades dos ocupantes provém de espaços para usos específicos de suas casas, como para realizar refeições, dormir, receber convidados e outras funcionalidades [26]. Isso sugere a necessidade de um ambiente construído, que seja adaptável, promova o conforto, o bem-estar, a segurança e a economia de energia dos ocupantes e harmonize os valores ambientais e socioculturais dos usuários [26][27]. Baseado nestes princípios, este capítulo analisa o conceito *Smart Home* inserido na *Smart Grid*, no qual propõe um sistema energético residencial inteligente. O capítulo pretende dar uma visão geral das *Smart Homes*, dos drivers (*Smart Meters*) e estado atual do desenvolvimento.

Na Seção 2.2, é apresentada a essência das tecnologias inteligentes para os atuais e futuros ocupantes. A seção discute o valor agregado das *Smart Homes* para os ocupantes e destaca o papel das *Smart Homes* em fornecer soluções para os desafios atuais nas cidades. Além disso, é discutida a integração de *Smart Homes* com a rede elétrica para facilitar a aplicação *Smart Grid* no nível residencial. A seção 2.3 está focada nos aspectos energéticos das *Smart Homes*, onde serão apresentados os avanços tecnológicos que permitem a realização do consumo inteligente residencial.

### 2.2 A essência das *Smart Homes*

As casas são importantes para a qualidade de vida e o bem-estar dos seus ocupantes. Portanto, melhorar a concepção das mesmas através de novos materiais e sistemas com tecnologia embarcada, é um passo importante para otimizar a qualidade das residências no que tange à saúde, ao conforto e ao uso de energia. Moradias com esses atributos geralmente são chamadas de casa inteligente ou *Smart Homes*. Existem vários benefícios atribuídos às

*Smart Homes*, que permeiam entre conforto, segurança e economia de energia. Eles são considerados como um dos principais constituintes de ambientes de vida mais inteligentes e sustentáveis.

Na área médica, uma *Smart Home* pode ser projetada para melhorar a detecção precoce e prevenção de problemas de saúde e médicos, ajudando os moradores a viverem por mais tempo. Além disso, devido ao envelhecimento da população, essas casas fornecem meios para os idosos e deficientes viverem sozinhos, atendendo suas necessidades, por meio da utilização de sensores avançados e tecnologias de monitoramento. Ademais, as *Smart Homes* fornecem controles para os ocupantes de forma simplificada, onde muitas atividades diárias podem ser monitoradas e controladas a partir do computador e/ou do *Smart Phones*, *Tablets* e *Keypads*.

Os sistemas automatizados residenciais fazem com que os habitantes evitem realizar tarefas rotineiras, tais como desligar todas as luzes e eletrônicos, vigiar se todas as portas de entrada na casa estão fechadas, além de permitir ações automáticas programadas. Mais importante ainda, as *Smart Homes* podem promover economia nas contas de energia, por monitorar e gerir de forma eficiente a demanda energética em tempo real.

Uma casa com Sistema Energético Residencial Inteligente (SERI) é definida como uma casa que emprega tecnologias de automação residencial para monitorar e/ou controlar dispositivos residenciais para proporcionar maior conforto, conveniência, segurança e menor custo para os ocupantes (ver Figura 5), sendo, desta forma, conceituada como "uma casa do futuro" - um sonho criativo para as futuras comunidades. Sendo assim, projetos recentes na Europa e em outras partes do mundo confirmam a penetração de SERI em áreas urbanas.

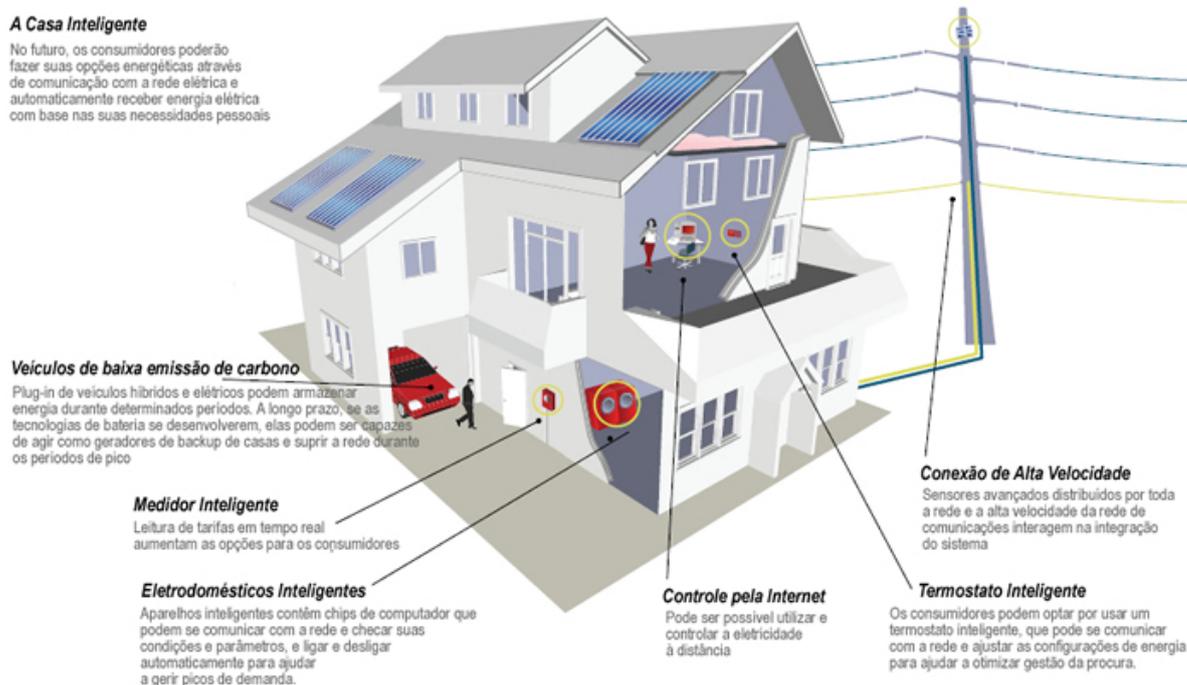


Figura 5. Conceito do Smart Home [28].

### 2.3 Smart Homes nas Smart Cities

As cidades estão aumentando em tamanho e em população. Por conseguinte, surgem novos e variados desafios, tais como: sistemas de transporte, coordenação e melhoria dos serviços sociais, redução do congestionamento de trânsito, abastecimento sustentável de água e energia e segurança pública. Atualmente, metade da população mundial reside nas cidades, segundo a Organização Mundial da Saúde. Essa proporção deverá crescer, aproximadamente, 25% até 2020 [29]. O uso de tecnologias inteligentes é uma abordagem nova que visa a tornar a vida na cidade mais dinâmica para os residentes e seus visitantes, com intuito de torna-la cidades inteligentes (*Smart Cities*).

O projeto europeu para cidades inteligentes é diferenciado por seis características, sendo elas [30]: administração inteligente, economia inteligente, ambiente inteligente, mobilidade inteligente, pessoas inteligentes e vida inteligente. A administração inteligente envolve a participação dos cidadãos na tomada de decisões, no governo transparente e no acesso aos serviços públicos e sociais, enquanto um espírito inovador e empreendedor, a produtividade, a flexibilidade do trabalho e a incorporação internacional declaram uma cidade com uma economia inteligente. O ambiente inteligente é caracterizado por gerenciamento sustentável de recursos, minimização da poluição e condições naturais atrativas. A facilidade na

acessibilidade local, a disponibilidade de infraestrutura de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), sistemas de transporte sustentáveis, inovadores e seguros são os principais fatores e indicadores aplicáveis para a mobilidade inteligente. As pessoas inteligentes são caracterizadas pelo seu nível de qualificação, afinidade à aprendizagem ao longo da vida, criatividade, mente aberta para novas ideias e participação na vida pública. E, por último, os indicadores para uma vida inteligente são definidos como condições de saúde, qualidade da habitação, segurança e ambientes educacionais e culturais. Uma cidade inteligente, portanto, deve combinar vários recursos e atividades para lidar com questões como habitação, economia, serviços, condições socioculturais e ambientais, para ser competitiva e sustentável.

A Parceria Européia de Inovação em Cidades e Comunidades Inteligentes procura acelerar significativamente a implantação em larga escala de soluções para *Smart Cities*, integrando tecnologias de energia, transportes e TIC [31]. No entanto, uma cidade é concebida em razão dos seus habitantes. Desta forma, a visão para uma cidade inteligente incorpora a criação de comunidades e municípios com estilos de vida inteligentes através da concepção das *Smart Homes* [26].

Os SERIs desempenharão um papel importante nas cidades inteligentes, contribuindo para a melhoria na qualidade de vida, na economia de energia, além de proporcionar segurança e conforto para os usuários. Como se pode ver, há inúmeros benefícios atribuídos às *Smart Homes*. As seis características descritas pelo projeto da cidade inteligente européia se fazem presente nas *Smart Homes*, conforme visto na Figura 6. Além disso, as tecnologias presentes nas *Smart Homes* otimizam o uso energético e ajudam a evitar emissão de gases nocivos, melhorando, por conseguinte, a saúde dos habitantes.

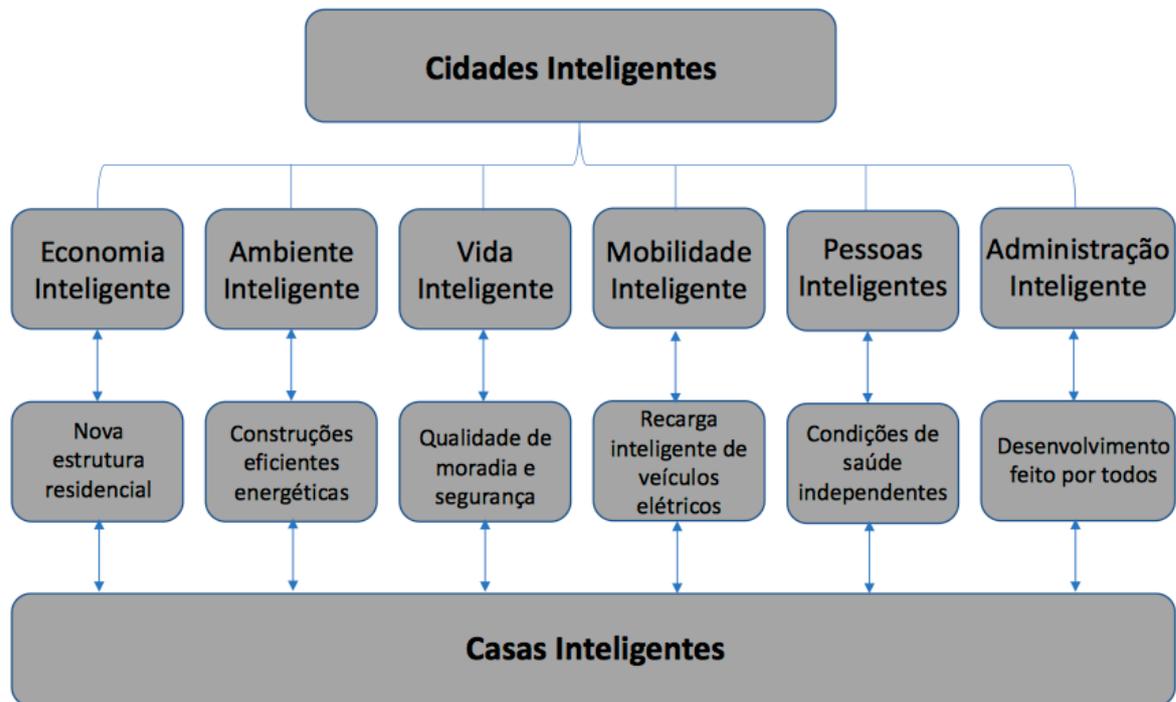


Figura 6. A *Smart Home* como parte integral das *Smart Citys*, adaptado de [32].

Muitos dos projetos das cidades inteligentes, ao redor do mundo, ainda estão em estágios iniciais de desenvolvimento, como é o caso do projeto de cidade inteligente na área metropolitana de Amsterdã. O Liander (operadora de rede de internet da área), em colaboração com a Plugwise (provedora de serviços energéticos), testaram um sistema de gerenciamento de energia com 250 clientes na região de Haarlem. O sistema permitiu o monitoramento do consumo energético, além de ter permitido também o controle automático e remoto de dispositivos específicos, fornecendo desta forma aos clientes uma visão mais detalhada dos seus consumos de energia [33].

## 2.4 Sistema Energético em Residências Inteligentes e a *Smart Grid*

Os SERIs não são apenas componentes importantes para cidades e *Smart Homes*, mas também possuem papéis de extrema relevância na transição para as *Smart Grids* (SG). A grande inserção de fontes de energia renováveis, o aumento da microgeração local inserido na rede de distribuição, o maior foco na confiabilidade e qualidade de energia, são os principais desafios na operação das redes de distribuição do sistema elétrico atual. Além disso, a crescente conscientização do cliente em relação aos seus direitos e deveres, bem como a falta de sintonia entre a energia gerada e consumida por parte da concessionária, corroboram ainda mais com os desafios presentes na distribuição energética.

Sendo assim, um sistema de distribuição eficiente, confiável e favorável ao meio ambiente, se faz necessário aos olhos da administração pública, pois a redes elétricas

tradicionais, possuem seu fluxo de geração e informação unidirecional, não podendo, portanto, lidar efetivamente com todos esses desafios, fazendo necessário a implementação de um sistema mais robusto, flexível e inteligente - o *Smart Grid*.

A *Smart Grid* (SG) pode ser considerada como uma fusão conceitual de sistemas de energia, de regulamentações e regras de mercado, e de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) [34]. O desenvolvimento do SG é visto como essencial para o transporte e distribuição de grandes quantidades de energia elétrica e também para facilitar a integração de fontes de energia renováveis através de tecnologias automatizadas de controle, detecção e medição, e de um gerenciamento de energia moderno [35]. O foco da SG pode ser tanto econômico (gerenciamento e operação do sistema, medição e cobrança remota, custos de extensões de rede), ecológico (redução de dióxido de carbono, integração de fontes renováveis) quanto na segurança do fornecimento (uso eficiente de ativos) ou um então mistura ponderada dos três [36]. Os benefícios da SG não se limitam à infraestrutura pública, mas também ao nível residencial.

A casa pode ser considerada um modelo reduzido de uma rede convencional de energia. Poderia ser denominado, portanto, como "*smallgrid*", pois pode possuir geração, distribuição e cargas. Cada vez mais, as residências estão gerando mais energia e injetando o restante da geração, na rede elétrica tradicional. As infraestruturas de comunicação presentes nas *Smart Homes* permitem um fluxo bidirecional de informações entre os SERIs, facilitando a presença do *Smart Grid* no nível residencial. A Figura 7 ilustra a interoperabilidade das redes *Smart Grids*, com os *Smart Meters*, *Smart Homes*, grandes fornecedores de energia, sensores e etc. essa interação é crucial para o desenvolvimento de bairros residenciais sustentáveis, uma vez que uma infraestrutura residencial inteligente é caracterizada por menos consumo energético, menos emissão de carbono, além de promover um aumento na eficiência energética e a confiabilidade da rede.

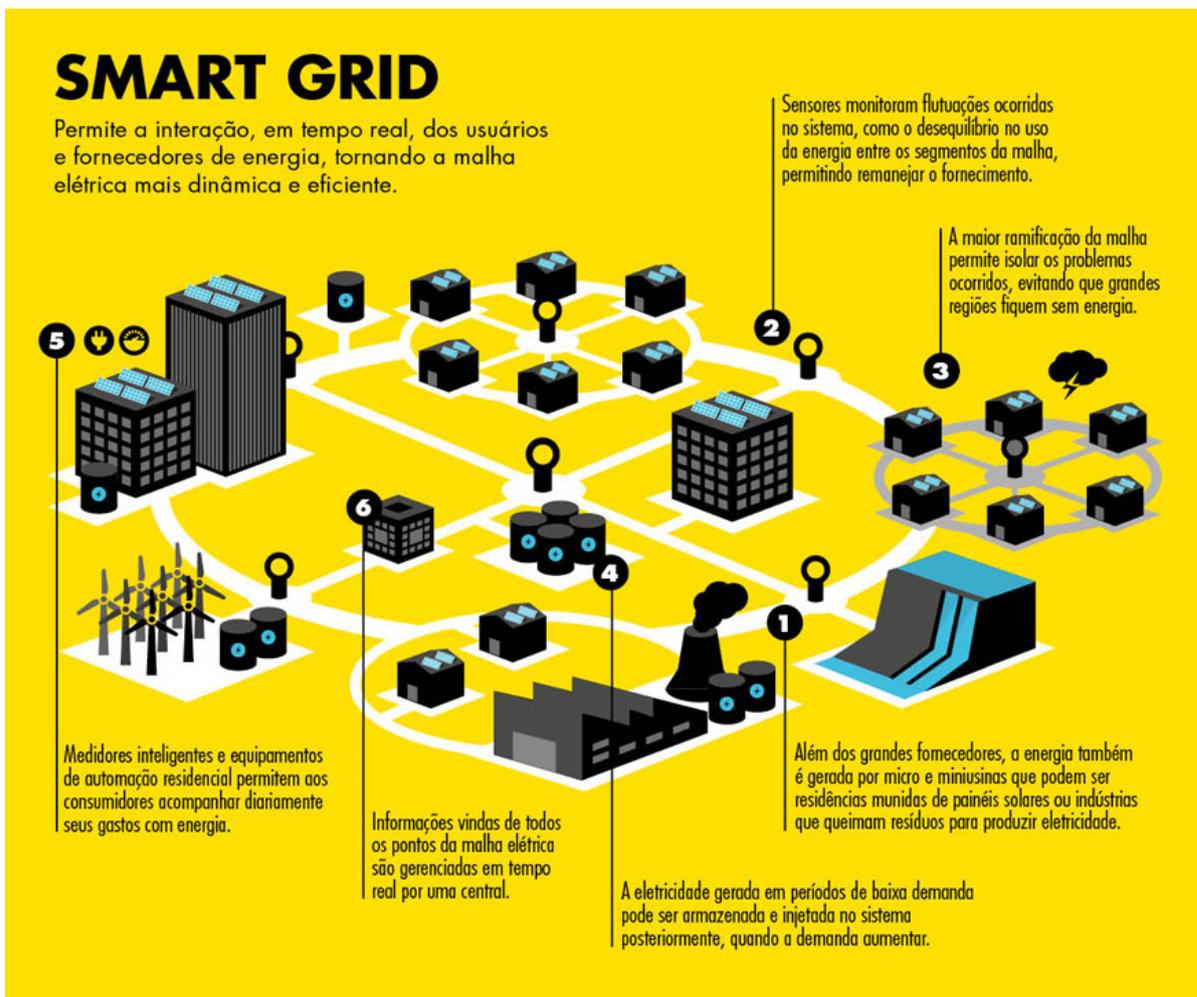


Figura 7. Visão geral do conceito Smart Grid [37].

## 2.5 Smart Meters

O *Smart Meters* são medidores inteligentes que têm papel primordial na implementação das SG, no qual tem seu papel fundamental no consumo de energia inteligente, sendo assim caracterizados como os medidores da próxima geração. Existem vários tipos de *Smart Meters*, como os de gás, água e eletricidade, os quais possuem muitas funcionalidades, como comunicação bidirecional com o provedor, recursos habilitados para internet e controle. O medidor inteligente de eletricidade, no qual será tratado por *Smart Meter*, é um dos componentes do sistema da SG, que tem um uso importante nos novos serviços e funcionalidades da rede. Este dispositivo eletrônico consiste em um sistema embutido autônomo, que permite a comunicação bidirecional entre o medidor e o sistema central. O *Smart Meter* também é responsável pelo registro do consumo de utensílios, como eletrodomésticos, aquecimento de escritórios, maquinários presente nas fábricas, etc.

Um *Smart Meter* pode apresentar uma ampla gama de recursos. Embora não exista uma diretiva ou norma que os defina em termos de quantidade ou funcionalidade, diferentes organismos estabeleceram algumas diretrizes[38]. O European Smart Meters Industry Group (ESMIG) definiu os recursos mínimos de um *Smart Meter* em quatro:

- Aferição remota;
- Comunicação bidirecional;
- Suporte a sistema de tarifa avançado e aplicações de cobranças;
- Controle remoto de suprimento energético.

No trabalho presente, a ótica abordada é em relação a *Smart Meters* presentes em *Smart Homes*. Assim, são observados *Smart Meters* que são geralmente encontrados em residências (mas alguns deles também podem ser encontrados em edifícios e lojas). O consumo energético é registrado em intervalos de uma hora ou menos (sendo em alguns possíveis de programar períodos distintos), e os dados são enviados de volta ao provedor de serviços para fins de monitoramento e cobrança, diariamente.

Atualmente, na fase inicial da SG, principalmente no Brasil, o objetivo do *Smart Meter* é, geralmente, diminuir o consumo energético dos consumidores, através do fornecimento de dados que visam o acompanhamento energético de cada equipamento ou da casa como um todo, sem um controle lógico mais aprimorado para tomadas de decisões. Outra finalidade, que ainda permeia no campo do futuro, é a possibilidade de o medidor inteligente controlar picos de eletricidade. Mas, isso exigiria que o *Smart Meter* também fosse um dispositivo de controle, entretanto, essa visão ainda está longe de entrar para a produção em massa. O que é menos discutido, publicamente, é a quantidade de dados privados que o medidor inteligente pode produzir e como eles poderiam ser usados, de forma não consentida, pelas empresas fornecedoras e/ou mantenedoras do sistema elétrico, em um modelo comercial que, hoje, vemos adotado por empresas como o Google e Facebook, que utilizam dados de usuários capturados na internet, para fins de marketing[39].

## **2.6 Smart Sensors**

Nos dias atuais e cada vez mais, os sensores em tamanhos reduzidos estão disponíveis em quase todos os dispositivos ou instalações, como automóveis, telefones celulares, lojas e rodovias. As tecnologias embarcadas nos sensores permitem aos usuários ativar os sistemas de segurança, ligar as luzes (ON / OFF) e dimerizá-las, fechar / abrir persianas e controlar o termostato quando longe de casa.



## **2.7 Smart Appliances**

Os eletrodomésticos inteligentes, ou em inglês *Smart Appliances*, incluem sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, iluminação, segurança e alarmes de incêndio, TVs, sensores para movimento, umidade ou calor, aquecedor de água, utensílios de cozinha como refrigeradores, cafeteira, forno, etc, conforme ilustrado na Figura 9. Todos possuindo alguma forma de “inteligência”, na qual possa promover a comunicação com o usuário ou com a internet para a obtenção de vários serviços geralmente destinados a automatizar tarefas humanas e tornar a vida mais simples.

Esses aparelhos não se desligam apenas durante horários pré-programados ou em horário de pico nos países que possuem essa estratégia. Em vez disso, executam algoritmos simples (que necessitam de um baixo poder de processamento) e inteligentes, para alterar seu consumo energético, com intuito de menos envolvimento com o cliente.

Um *Smart Appliance* pode mudar todo o seu ciclo operacional ou diminuir a sua frequência de uso, priorizando a economia de energia. Refrigeradores, lava-louças, máquinas de lavar roupa, aparelhos de ar condicionado são alguns aparelhos domésticos que já estão sendo feitos inteligentes. Uma geladeira inteligente, por exemplo, pode adiar seu ciclo de descongelamento para as horas noturnas, enquanto uma máquina de lavar inteligente, em uma casa com sistema fotovoltaico instalado, pode começar a lavar durante o tempo em que o sistema fotovoltaico esteja produzindo uma maior quantidade de energia. As máquinas de lavar inteligentes, que respondem aos sinais de controle (remoto ou local através de um sistema de gerenciamento energético) para iniciar suas operações, foram testadas em um projeto piloto em Hoogkerk e Zwolle, cidades do norte e do meio da Holanda, respectivamente [44].

Se a fabricação e a adoção de aparelhos inteligentes se tornarem generalizadas, os clientes residenciais podem influenciar e, de preferência, reduzir a demanda em grande escala [45].

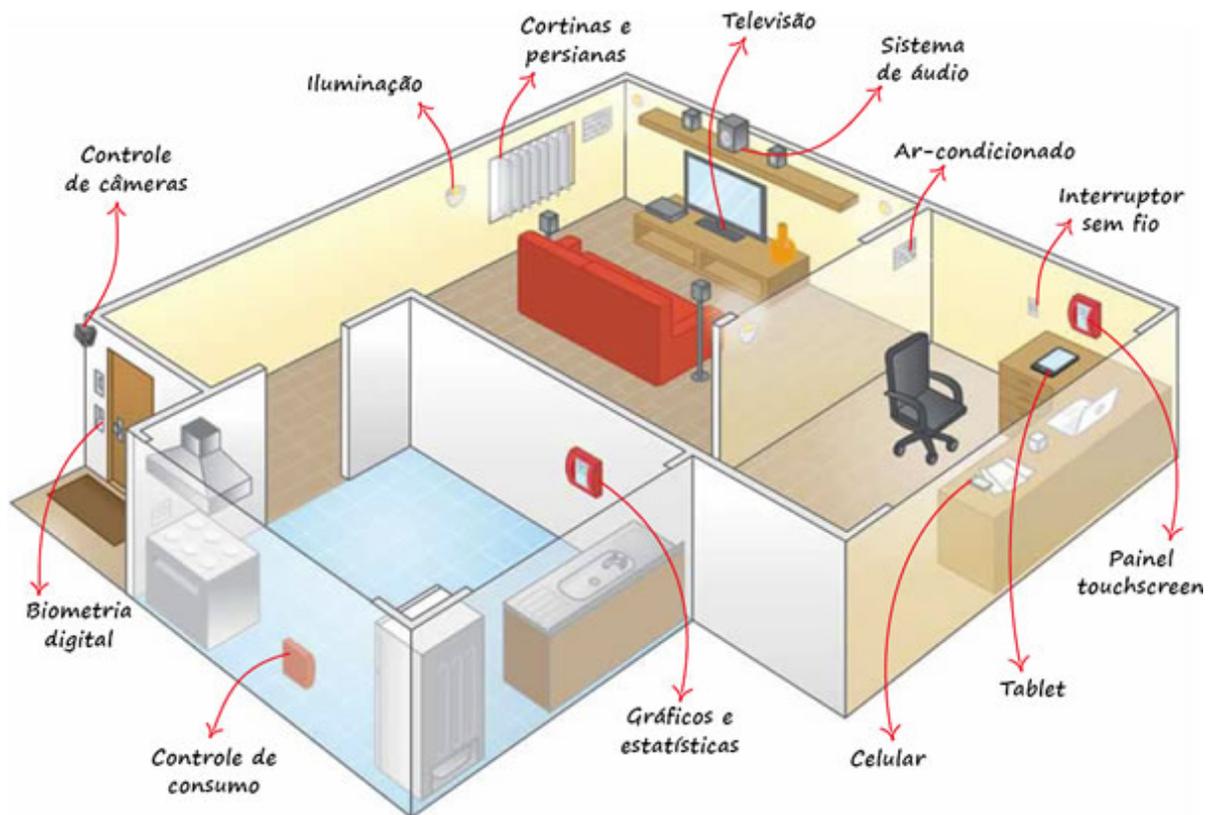


Figura 9. Utensílios de uma *Smart Home* [46].

## 2.8 Considerações Finais

As casas com sistema energético inteligente são realidades nos dias de hoje. Entretanto, sua penetração é escassa. Os SERIs estão mudando o estilo de vida da sociedade moderna. À medida que as cidades crescem em tamanho, população e desafios, os SERIs são cruciais no fornecimento de melhores condições de vida, economia de energia, ambiente mais verdes, segurança e conforto para os habitantes.

Os SERIs terão sua maturidade através de pesquisas laboratoriais feitas em instituições acadêmicas, validando as novas tecnologias e sistemas, com o objetivo de aumentar a qualidade de vida e também a independência de indivíduos com necessidades especiais. Finalmente, a evolução do conceito *Smart Grid* estará incompleta sem o envolvimento dos consumidores residenciais. Os Sistemas Energéticos de Residências Inteligentes fornecem tecnologias que contribuem para aplicações *Smart Grid* no nível residencial.

Os *Smart Meters*), as tecnologias dos *Smart Sensors*, as redes de comunicações residenciais, os *Smart Appliances* e os sistemas de gerenciamento energético residencial, são os itens fundamentais que facilitam a integração dos SERIs. Novas construções são os locais ideais para testar interações entre SERIs e as *Smart Grids*. No entanto, a colaboração entre as partes interessadas, tais como municípios, construtoras habitacionais, operadores de rede

internet, vendedores de energia e políticos, tornará de mais fácil acesso a penetração de SERIs no sistema energético atual.

## 3. TRABALHOS RELACIONADOS

### 3.1 Considerações Iniciais

Nas pesquisas que englobam a computação e os sistemas de energia, pesquisadores desenvolveram algoritmos e arquiteturas de otimização energética para lidar com o gerenciamento de energia das *Smart Homes* de várias formas. A integração da gestão local de energia em *Smart Homes* e o gerenciamento global da rede de distribuição de energia, podem ser analisadas sob diferentes perspectivas como, por exemplo, através diferentes tipos de arquiteturas que podem controlar cargas elétricas modificando o tempo de utilização de determinados eletrodomésticos, visando um melhor consumo energético por parte dos consumidores e uma menor sobrecarga nas redes de transmissão das concessionárias.

A falta de um acervo bibliográfico extenso e atualizado, dificulta um maior aprofundamento em questões que necessitam de mais pesquisas, como por exemplo, as relações de dependência/conforto entre usuários e eletrodomésticos, e também de métodos de inteligência computacional que visam a redução do consumo energético de uma *Smart Home*, com pouco ou nenhum impacto no bem-estar do consumidor.

### 3.2 Arquiteturas Baseadas em Manejo de Carga

A arquitetura de controle, que promove uma gerência mais ampla das *Smart Homes* em termos energéticos, pode ser de forma centralizada ou descentralizada com multi-agentes. Em [47], é proposto uma arquitetura multi-agente (várias *Smart Homes*), no qual se utiliza de dados pré-determinados, como quais eletrodomésticos há nas *Smart Homes*, qual é o tempo de utilização de cada um, seu ciclo de funcionamento e horário de funcionamento. Com o intuito de reduzir o consumo energético e diminuir a conta elétrica, a arquitetura multi-agente proposta em [47], modifica o horário de funcionamento dos equipamentos, visando que estes sejam utilizados fora do horário de pico.

Em [47], cada casa tem um *Smart Meter* que controla o consumo de energia de dispositivos elétricos, levando em consideração os preços de energia atuais e previstos. As fontes de renováveis estão integradas na arquitetura de forma indireta, não considerando a inserção de dados de geração de um sistema real.

Em contraste, em [48] é apresentado um algoritmo chamado CAES, baseado em uma arquitetura centralizada (uma única *Smart Homes*), que controla a operação dos eletrodomésticos através de *Smart Meters* por meio da técnica de agendamento de uso, visando a redução dos custos de energia em horários de pico. O CAES é um *software* de aprendizagem on-line que estima, de forma implícita, o impacto a longo prazo dos futuros preços da energia em relação às decisões dos consumidores na utilização dos seus eletrodomésticos.

O sistema não considera microgeração, armazenamento de energia e o conforto do usuário de forma primária. O objetivo do algoritmo tem por somente permitir que os eletrodomésticos funcionem com menor custo ao usuário, em horários que podem ser variáveis, dependendo da tarifa na hora pico de consumo. Os resultados mostram que o CAES reduz os custos em até 40% em relação às técnicas que não possuem aviso ao consumidor sobre o seu consumo elétrico.

Segundo [48], a solução envolvendo o agendamento de eletrodomésticos para otimizar o uso de energia é uma das mais utilizadas, quando o âmbito proposto é a redução do consumo energético por meio da realocação, de forma automática, do consumo dos equipamentos nos horários com menor tarifação. Se tenta alcançar, em [48], um *trade-off* desejado entre o menor custo elétrico e minimizar o tempo de espera para a utilização de cada aparelho, o que é importante para minimizar a interferência no conforto do usuário.

Já em [49] e [16] é proposto um algoritmo puro de resposta à demanda, que visa operar os eletrodomésticos de forma mais específica. O algoritmo classifica os eletrodomésticos como os que seu ciclo de funcionamento não pode ser interrompido e os que podem, sob algumas restrições que são definidas considerando a operação específica de cada aparelho. Esta classificação é implementada de forma mais detalhada por [16], quando os afazeres dos eletrodomésticos residenciais são classificados como que podem ser postergados / não podem ser postergados e interruptíveis / não interruptíveis, de acordo com as características distintas de operação de cada aparelho. No trabalho presente na dissertação aqui desenvolvida, a solução não pretende propor um agendamento rígido para o uso de eletrodomésticos, por se ter como norte, que é importante manter a liberdade do usuário em decisões sobre demanda de energia.

### 3.3 Arquiteturas Baseadas em Manejo de Carga e Conforto

Vários trabalhos levaram em consideração o conforto do usuário em seus métodos para o balanço energético residencial. Em [50], os equipamentos são divididos em dois tipos, sendo um em tempo real e o outro em agendável. No primeiro caso, os aparelhos consomem energia como desejam. No segundo caso, os eletrodomésticos podem ser ligados em um momento posterior. Ao fazer a seleção dos equipamentos, o sistema proposto em [50], priorizou os equipamentos que necessitam estar ligado por mais tempo (os que trazem mais conforto ao consumidor, que no caso são os em tempo real), e os agendáveis foram programados para serem ligados quando a meta de consumo diária não tivesse sido atingida. As informações sobre quais equipamentos devem ser desligados em [50], provém, todas, do consumidor. Não tendo, portanto, um método automático para aquisição de dados. Já em [51], o algoritmo da arquitetura HEM(*Home Energy Management*) prioriza a utilização de equipamentos nos quais o morador indicou, previamente, a sua ordem de prioridade baseado no conforto, como se pode ver na Figura 10.

Eletrodoméstico	Prioridade	Preferência do Usuário
Aquecedor de Água	1	Temperatura da Água: 110-120° F ()
Ar Condicionado	2	Temperatura do ambiente: 76° F
Secador de Roupas	3	Termina o serviço por volta da meia noite. Tempo máximo desligado: 30 min. Tempo máximo ligado: 30 min.
Carro Elétrico	4	Carga completa às 8 AM. Tempo de carga mínimo: 30min.

Figura 10. Ordem dos equipamentos ranqueados pelo usuário. Adaptado de [51].

No estudo abordado em [52], com intuito de manter o conforto do usuário, o autor divide os equipamentos elétricos presente na casa em 3 categorias, sendo estes em :

- A- Equipamentos sem possibilidade de manuseio/flexibilidade, como a geladeira;
- B- Equipamentos que permitem ajustes baseado na quantidade de uso bem como nos consumos energéticos, como ventilação, ferro de passar e etc;
- C- Equipamentos que permite um semi-ajuste, no qual consome uma quantia fixa de energia para a sua utilização completa, como máquina de lavar, máquina de lavar louças e etc.

No estudo, para priorizar o conforto, certas quantidades de energia são distribuídas entre as categorias como cotas. Se a categoria “A” extrapolar o seu consumo e por ventura a “B” ainda tiver energia disponível mesmo após realizar todas as demandas diárias que seus equipamentos necessitam, esta pode ceder para a “A”, bem como a “C” pode ceder para a “B” com a mesma condição. Entretanto, a categoria “A” nunca cederá energia para a “B” e estar para a “C”.

**Tabela 1. Tabela comparativas entre artigos correlatos.**

Referências	Principais lacunas encontradas
[Dusparic et al, 2013][47]	A técnica proposta não analisa o impacto no conforto do usuário, no momento em que o sistema de tomada de decisão, RLbEMS, atua na redução do consumo elétrico em horários de pico; não contém alertas para que o usuário possa ser avisado em caso de anomalias no seu consumo energético previsto; os equipamentos somente ligam, quando a tarifa energética é mais barata, e desligam quando a tarifa é mais cara, não tendo outras opções visando a redução do consumo energético; a técnica exige um alto poder de processamento.
[O'Neill et al, 2010][48]	É proposto um algoritmo de aprendizagem online, baseado em Markov, denominado por CAES, no qual se baseia no comportamento de consumo/utilização dos eletrodomésticos pelo usuário, para prever o consumo energético futuro e com isso, agendar a utilização dos equipamentos; não possui análise baseada no conforto do usuário, sendo todas baseadas no custo de utilização de cada eletrodomésticos. Os que consomem mais, não podem ser ligados em horário de pico; não possui alerta remoto ao usuário, somente <i>in loco</i> ; o algoritmo é executado em um computador pessoal.
[Kim et al, 2011][49]	O algoritmo, baseado em Markov, proposto no trabalho, também visa o agendamento dos eletrodomésticos, para evitar o consumo energético demasiado em horário de pico e pode ser executado dentro de <i>smart meters</i> ; os eletrodomésticos são divididos em: que o seu ciclo de funcionamento pode ser interrompido e os que não podem, visando uma maior economia; o algoritmo não possui alertas relacionados ao consumo energético; não faz análise pertinente ao conforto do usuário.

[Chen et al, 2012][16]	O algoritmo proposto é baseado no método Monte Carlo, no qual faz a divisão dos eletrodomésticos em duas classes, sendo a primeira os que podem ser postergados / não podem ser postergados e a segunda, interruptíveis / não interruptíveis, de acordo com as características distintas de operação de cada aparelho, visando alocar as cargas elétricas, presentes em uma residência, quando a energia elétrica estiver com uma melhor tarifação; não possui alerta ao usuário sobre o seu consumo energético, e o algoritmo pode ser executado em <i>smart meters</i> .
[Lee et al, 2014][50]	O algoritmo proposto baseado em HEMS, promove divisões dos eletrodomésticos em agendável e em tempo real. O em tempo real, são os equipamentos que podem consumir energia a vontade durante o dia, sendo esses os que trazem mais conforto ao usuário; as configurações do sistema são todas fornecidas pelo usuário, não tendo portanto, uma forma automática de aquisição de dados; não possui alertas ao usuário, entretanto o usuário pode observar o comportamento do seu consumo de forma remota ou <i>in loco</i> , mas sem qualquer tipo de controle; o algoritmo pode ser executado em <i>smart meters</i> .
[Ullah et al, 2015][51]	O algoritmo proposto é baseado na arquitetura HEM, no qual o usuário faz um ranking, de forma manual, dos equipamentos que mais utiliza. Ao fazer esta classificação, o usuário indica quais os equipamentos mais necessários para o mantimento do seu bem-estar. Sendo assim, o algoritmo, em caso de extrapolação do consumo energético pré-determinado, corrigirá nos eletrodomésticos com menor grau de impacto no conforto do usuário; não possui alerta ao usuário; não é informado de que forma o algoritmo é implementado.
[Mahmood et al, 2015][52]	Na arquitetura proposta, baseada em DRM (Demand Response Management), o autor divide os equipamentos em 3 classes e, para cada uma delas, este divide uma quantidade “x” de energia. As classes foram concebidas com o intuito de manter o conforto do usuário. Se a quantidade de energia de uma classe acabar, esta pode emprestar de outra classe, caso tenha energia remanescente e,

	<p>assim, o usuário poderá continuar usando todos os seus eletrodomésticos sem impactar no seu conforto; não possui alerta ao usuário; o usuário define manualmente quais equipamentos ficarão em cada classe; o sistema pode ser embarcado em <i>smart meters</i></p>
--	--

### 3.4 Considerações Finais

Após uma análise nos principais textos, certos pontos ficaram em aberto, pois os estudos aqui relatados, não levaram em consideração variáveis de suma importância para a análise de conforto, tais como o tempo de utilização de cada usuário em relação a cada eletrodoméstico, nem o quanto de dias da semana essa utilização se repete, ficando assim com um estudo sobre o conforto bem amplo não representando de forma mais precisa, a relação de dependência entre consumidor e eletrodomésticos. Além de que todos os dados para análise do conforto são inseridos nas técnicas de manejo de carga, de forma manual.

O alerta ao usuário sobre a possibilidade de extrapolação do seu consumo energético, é outro ponto pouco presente nos trabalhos analisados. Muito deles tem a sua ótica, voltada somente para a previsão do consumo no que se diz respeito à tarifação elétrica. Sendo assim, os alertas presentes são todos relacionados ao âmbito financeiro, não no consumo relacionado à potência. Os alertas são feitos *in loco*, ou seja, as técnicas não possuem um método para avisar ao usuário remotamente, sobre o seu consumo. Além que as interfaces são todas baseadas em *softwares* a serem utilizados em computadores, sem a opção de acompanhamento das informações sobre o consumo, através de *smartphones*.

## 4. SMARTCOM - Arquitetura Inteligente para Gerenciamento de Consumo para *Smart Homes*

### 4.1 Considerações Iniciais

O conceito da arquitetura SmartCoM (SC) é fruto da proposta da tese de doutorado [53], e de trabalhos de conclusão de curso [54]. O trabalho realizado nesta dissertação contribuiu para a inserção da inteligência da arquitetura SC, utilizando a lógica *fuzzy*, levando em consideração o grau de conforto que cada equipamento, em sua utilização, proporciona ao usuário.

Em geral, os *Smart Meters* propõe um controle mais incisivo do consumo energético residencial, proporcionando redução do consumo em horários de picos, gerando informações individuais da demanda energética de cada equipamento elétrico bem como da residência como um todo, além de promover um maior combate entre as concessionárias e ligações clandestinas, denominadas por “gato”[55]. Entretanto, a forma de se controlar as demandas energéticas através dos *Smart Meters*, dentro de uma residência, é realizada sem levar em consideração o conforto do usuário, nem a periodicidade de utilização de cada equipamento elétrico. O consumo energético é levado, exclusivamente, como base para a interrupção do seu uso.

Neste capítulo, será proposta por meio da lógica *fuzzy* e de uma análise criteriosa relacionada à utilização usuário vs. equipamentos, uma solução que visa a reduzir o consumo energético com o menor impacto possível para o conforto do usuário.

## 4.2 Arquitetura SmartCoM

Segundo [56], a arquitetura oferece um modelo inovador de interoperabilidade para o *Smart Home*. É definida por uma metodologia de *middleware* baseado em REST (*Representational State Transfer*), no qual integra o sistema de supervisão da empresa de provedora de energia com os elementos de medição disponíveis ao consumidor. É também responsável pelo controle de fontes de energia alternativas (geração distribuída), além de permitir a automação de eletrodomésticos por meio de dispositivos inteligentes, alerta de consumo por mensagem de texto e/ou aplicativos (por exemplo, regras para programar atividades rotineiras, status do consumo em tempo real, controle efetivo dos equipamentos elétricos, etc.).

A finalidade da arquitetura SmartCoM é orientar e auxiliar desenvolvedores de *hardwares* e *softwares*, no desenvolvimento de aplicações de interoperabilidade para o *Smart Home* de forma transparente, modular, flexível, escalável e confiável, respeitando as regras estabelecidas [57] e [58] que são as soluções de interoperabilidade mais utilizadas no domínio *Smart Home*. Essa arquitetura deve ser genérica para que soluções mais eficientes possam ser desenvolvidas.

Uma vez que não se trata apenas de resolver o problema de como os consumidores devem realizar a gestão energética residencial, a arquitetura também propõe um *middleware* com recursos de leitura/escrita nos *Smart Meters* presentes no ambiente. Desta forma, permite que diferentes soluções de interoperabilidade sejam utilizadas para se comunicar com diferentes tipos *middleware*, permitindo que a comunicação entre eles seja possível e também com sistemas de troca de mensagens e/ou aplicativos para.

A arquitetura proposta também permite a adoção de funcionalidades de gerenciamento inteligente, que podem se utilizar de técnicas heurísticas baseadas em inteligência computacional. Este fato possibilita a análise de variáveis obtidas a partir de equipamentos de medição e de padrões de extração para caracterizar o consumo de cada consumidor, de modo que um modelo otimizado possa eventualmente ser aplicado em *Smart Metering*. Desta forma, esta arquitetura não só torna viável o canal de comunicação entre elementos heterogêneos para o tráfego de dados, mas também o prolonga para que possa ser utilizado para analisar e extrair padrões de consumo para cada utilizador final.

A Figura 11 mostra o diagrama de blocos, que dá uma visão geral da arquitetura proposta e apresenta o modelo conceitual que a sustenta. Cada bloco desempenha um papel bem definido que leva em conta o funcionamento e as características da arquitetura. É possível adaptá-lo à escalabilidade e flexibilidade.

De acordo com [56], o núcleo especifica as partes físicas e lógicas que são necessárias para adquirir e gerenciar os nós de medição. O nó central adquire dados, fornecidos pelos nós de medição, e internamente manipula os dados e os passa para a camada de visualização.

São fornecidas duas *interfaces* de comunicação para satisfazer os recursos de comunicação especificados na arquitetura. A integridade é mantida através do estabelecimento de um canal de comunicação dedicado para os elementos de medição e assim evitar a perda de informação. Por exemplo, se houver um gargalo de rede, uma interface de comunicação IEEE 802.15 / *Zigbee* é empregada (Ambiente Interno). 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 [59]. Além disso, tem uma vantagem, que é que ele pode economizar energia durante a comunicação [59].

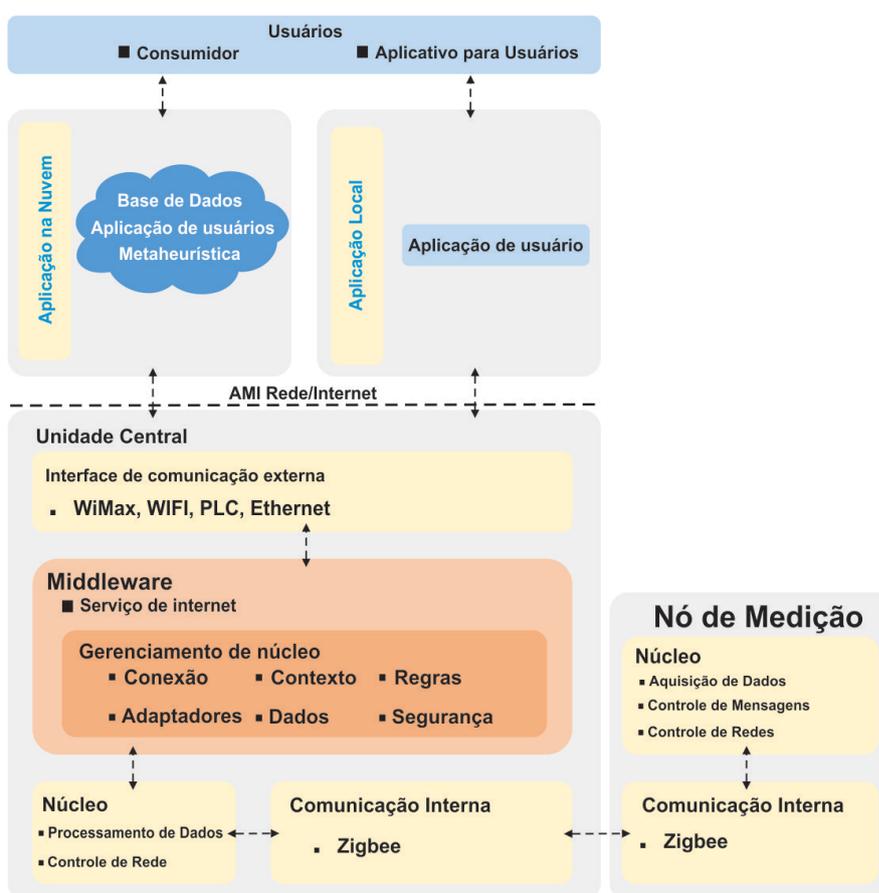


Figura 11. Diagrama de Bloco do SmartCoM[53].

A presença de interfaces de comunicação de dados para o ambiente externo (Internet), usando padrões como Wi-Fi, Ethernet, WiMAX, PLC, etc, pode ajudar os usuários a lidar com os dados. Isso é descrito na arquitetura como Ambiente Externo.

Conforme [56], ambas as tecnologias de acesso à rede devem ser transparentes para aplicações de supervisão e monitoramento. Essa comunicação é o elemento-chave para fornecer acesso a dados em domínios heterogêneos e desempenha um papel importante em tornar esta arquitetura funcional.

Alguns níveis de gestão são definidos no núcleo de gestão, tais como: conexão, adaptador, contexto, meta-heurísticas e dados, entre outras áreas, e exigem o uso da arquitetura.

O gerenciamento das conexões controla a comunicação entre o supervisor (nó central) e as várias ligações de dispositivos de medição instalados no lado do consumidor (nó de medição). Isso faz com que a gerência adaptativa necessite se comunique o middleware à interface de comunicação requisitada pela arquitetura através do WS (*Web Service*).

A gestão do contexto desempenha um papel na gestão das variáveis de ambiente da arquitetura, tais como: portas de comunicação, classes de prioridade de mensagens para controle e supervisão, regras de criptografia, etc. Para um controle mais eficaz e transparente, é necessário identificar cada dispositivo monitorizado pelo nó de medição.

Cada aparelho eletrodoméstico deve ser registrado no sistema com seu código de identificação e seu tipo, para que possa ser ativado pelo sistema de monitoramento. O código de identificação registra automaticamente um número-identidade (endereço MAC) para cada dispositivo.

A técnica de inteligência baseada em meta-heurística e análise de conforto, presentes nesta dissertação, é concebida dentro da Unidade Central da arquitetura SmartCoM, mais precisamente dentro das regras inseridas no bloco *middleware*. Assim, as regras podem ser criadas por meio de técnicas de inteligência computacional, sendo responsável pela extração de padrões de consumo. O resultado é um conjunto de regras otimizadas que podem ser aplicadas ao equipamento de medição de cada usuário.

O gerenciamento de dados armazenados e a manipulação destes emergem de dispositivos de medição inteligente e variáveis de ambiente. No futuro, eles também servirão para armazenar regras baseadas em metaheurística. Essa camada deve existir tanto para o sistema supervisor como para o consumidor, já que não há obrigação dos fabricantes de fornecer interfaces para armazenar e gerenciar as regras criadas.

A camada de middleware geralmente fornece uma visão de todos os seus componentes e pode ser usada, por exemplo, para produzir mensagens de controle tais como: *on/off* dos equipamentos de forma remota, ajuste de consumo, alternância entre fontes de energia, armazenamento de variáveis do ambiente interno e externo de cada usuário.

As aplicações do usuário monitoram e gerenciam os elementos de acordo com o SmartCoM. Essas aplicações devem ser desenvolvidas de forma que não dependam de qualquer tipo de *middleware* específico para o seu funcionamento, sendo necessário somente, ser compatíveis com o REST. Esta camada divide os domínios de desenvolvimento de aplicativos em duas partes, uma para o cliente e outra para o utilitário. No entanto, o utilitário pode ver esta camada como um meio de se integrar com qualquer outro sistema de monitoramento SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

### 4.3 Escolha da técnica de inteligência computacional

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 [60]. Os métodos mais utilizados em sistemas inteligentes são: Algoritmos *Fuzzy*, Algoritmos Genéticos, PID e Redes Neurais. O Controlador Lógico *Fuzzy* (CLF), que utiliza inferência da lógica *fuzzy*, pode detectar mudanças repentinas em variáveis heurísticas, se tornando muito eficiente para aplicações de alerta e tomada de decisão.

A lógica *fuzzy* é amplamente utilizada nos métodos mais variados de controle e automação [61], sendo também difundida nos *softwares* e *hardwares* presentes nas *Smart Homes*.

Para [62], o conceito *fuzzy* pode ser entendido como uma situação em que não é possível responder simplesmente “sim” ou “não”. Mesmo conhecendo as informações necessárias sobre a situação, dizer algo entre “sim” e “não”, como “talvez” ou “quase”, torna-se mais apropriado, sendo, portanto, uma técnica adequada para o processamento de dados reais, captados por sensores instalados em *Smart Homes*.

Segundo [63], a lógica *fuzzy* é extremamente útil para várias pessoas envolvidas em pesquisa e desenvolvimento, incluindo engenheiros (elétricos, mecânicos, civis, químicos, aeroespaciais, agrícolas, biomédicos, informáticos, ambientais, geológicos, industriais e mecatrônicos), matemáticos, desenvolvedores de software e pesquisadores, cientistas naturais (biologia, química, ciências da terra e física), pesquisadores médicos, cientistas sociais (economia, gestão, ciência política e psicologia), analistas de políticas públicas, analistas de negócios e juristas.

De acordo com [63], a lógica *difusa* foi utilizada em inúmeras aplicações, como reconhecimento de padrões faciais, aparelhos de ar condicionado, máquinas de lavar roupa, aspiradores, sistemas de travagem antiderrapantes, sistemas de transmissão, controle de

sistemas de metrô e helicópteros não tripulados, sistemas baseados em conhecimento para otimização multiobjetiva de sistemas de energia, sistemas de previsão do tempo, modelos de preços de novos produtos ou avaliação de risco do projeto, diagnóstico médico e planos de tratamento e negociação de ações. A lógica *fuzzy* foi utilizada com sucesso em vários campos, como engenharia de sistemas de controle, processamento de imagem, engenharia de energia, automação industrial, robótica, eletrônicos de consumo e otimização. Este ramo da matemática inculpou nova vida em campos científicos inactivos há muito tempo.

Em [61], os autores fizeram uma pesquisa que aborda a comparação de controladores *fuzzy* em relação a outros controladores, como por exemplo, os PIDs (Proporcional, Integral e Derivativo) tendo com resultados uma série de vantagens como:

- Flexível, base de conhecimento intuitivo. Controle e supervisão falam a mesma “linguagem”;
- Interface conveniente ao usuário. De fácil interpretação para o usuário final, quando este não é engenheiro de controle;
- Fácil integração com computadores. Uma grande variedade de *toolboxes* e de circuitos integrados dedicados;
- Validação. Consistência, redundância e completude estão presentes na base de regras, que podem ajudar na rapidez da aprendizagem automática e melhorar a interpretação do usuário;
- Controladores PID promovem respostas binárias, ao passo que os controladores *fuzzy* promovem respostas intuitivas à usuários comuns, por se utilizar de linguagem humana como resposta.

Também chamada lógica nebulosa ou difusa, os controladores baseados em *fuzzy*, conforme pode ser observado nas pesquisas realizadas são os mais adequados para sistemas residenciais, levando em conta que eles são caracterizados por alta não-linearidade, flutuações na entrada e variação do ambiente analisado [64], que são variáveis presentes no dia-a-dia de uma residência. Por necessitar de um baixo poder de processamento, de pouca memória para desempenhar seu papel lógico e de uma série de vantagens que ajudam na sua implementação em circuitos integrados [61], a lógica *fuzzy* é o método inteligente elegido e que será utilizado na arquitetura SmartCoM.

## 4.4 Overview da Teoria da Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* que foi introduzida primeiramente por Zadeh em 1965, no qual se caracteriza por ser uma teoria que se utiliza de equações matemáticas para explicar o raciocínio humano. As fórmulas de computação em lógica *fuzzy* 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 [65][66]. As principais operações de conjuntos, sendo  $A$  e  $B$  dois conjuntos *fuzzy*, e  $MA$  e  $MB$  funções de associação, são:

1. **União de dois conjuntos:**  $A$  e  $B$ :  $M(A(x) + B(x)) = \max(MA(X), MB(X))$  (1)

2. **Interseção de  $A$  e  $B$ :**  $\min(MA(x), MB(x))$  (2)

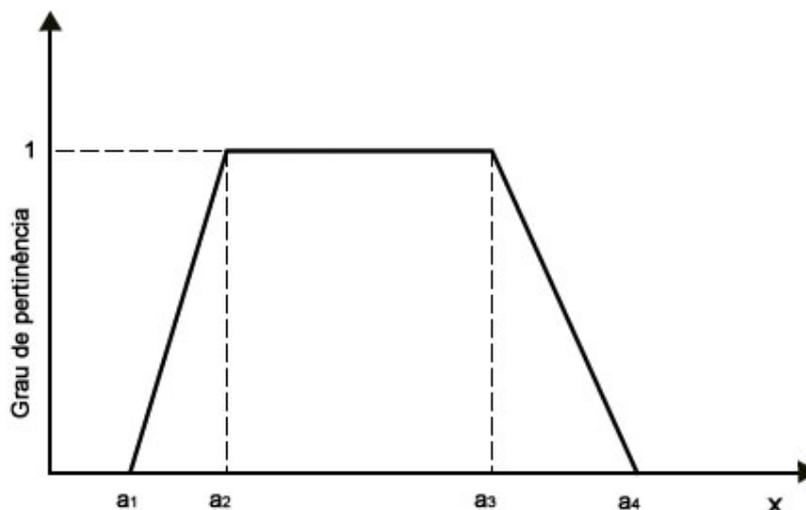
3. **Negação:**  $M(A(x) = (1 - MA(x)))$  (3)

### 4.4.1 Função de pertinência e regras Fuzzy

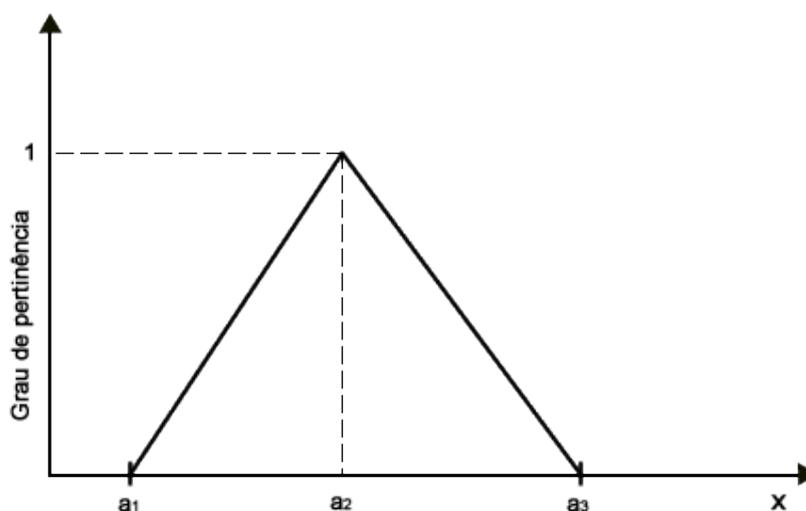
As variáveis de entrada e saída *fuzzy* são representadas por Funções de Pertinência (FP ou MF, do inglês Membership Functions). As funções relacionam cada entrada e saída com uma variável ponderada, dependendo da forma da curva [67]. As FPs são geralmente escolhidas pelo projetista do controlador [65]. As funções de associação mais populares são:

- a. Triangular
- b. Trapezioidal
- c. Gaussiana
- d. Bell
- e. Função de pertinência em formato de “ $\pi$ ”
- 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 a seguir mostram as duas funções básicas *fuzzy* [68][69].



**Figura 12. Função de Pertinência Trapezioidal.**



**Figura 13. Função de Pertinência Triângular.**

### ***Fuzzy* estilo Mamdani:**

O tipo Mamdani se caracteriza pelo conjunto de funções de pertinência *fuzzy* mais utilizado[64]. Foi introduzido por E.H. Mamdani [70][71]. Utiliza-se métodos simples na concepção da função de associação e regras difusas, e é especialmente compatível com sistemas caracterizados por entradas e saídas simples [72]. O método Mamdani é baseado

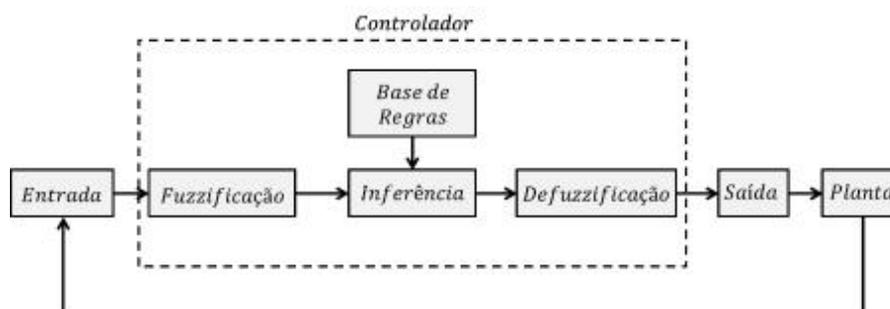
em grande parte em intuições e conhecimentos humanos, funcionando bem com sistemas imprevisíveis e de grandes incertezas [72].

### **Fuzzy estilo Sugeno:**

Sugeno *fuzzy* foi proposto pela primeira vez por Takagi e Sugeno em 1985 [73]. Na lógica *fuzzy* de Sugeno, as soluções únicas são usadas para dar certos valores à saída de controle [74][75]. O método é eficaz no controle de sistemas complexos não-lineares [76]. 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 [77].

#### **4.4.2 Estrutura de um 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 base de conhecimento, que consiste na base de regras difusa e as definições linguísticas para as variáveis de entrada e saída. O mecanismo de inferência, que aplica as regras difusas para calcular a ativação de cada variável. O bloco de fuzzificação que converte a entrada crisp em uma variável *fuzzy* [78]. O bloco defuzzificação que converte a saída do controlador de lógica *fuzzy* em uma variável crisp. Na Figura 14, a todos os componentes presentes na estrutura básica de um controlador *fuzzy* é representado por diagramas de blocos.



**Figura 14. Estrutura básica de um sistema de controle fuzzy.**

Métodos de defuzzificação 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 [66][79]. Na Figura 15, um gráfico explicativo com o ponto CoA é apresentado.

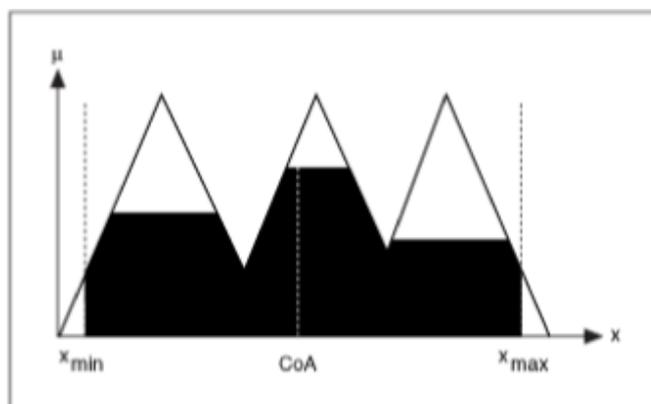


Figura 15. Defuzzificação tipo Centro de Área [79].

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 [80].

#### 4.5 SmartCoM: Sistema *Fuzzy*

A lógica *fuzzy* apresentada na arquitetura SmartCoM 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) possui 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* (30 combinações), 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 20, a diante, é possível ver o panorama geral do sistema *fuzzy* completo.

#### 4.5.1 SmartCoM: Sistema *Fuzzy* – Entradas

##### 4.5.1.1 Índice de Consumo

A variável de entrada, Índice de Consumo (IC), da lógica *fuzzy*, presente na Figura 16, tem como objetivo estabelecer parâmetros e padrões sobre consumo energético do usuário. Através da fórmula 4, que está baseada na escala mensal, 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.

Os resultados da equação IC podem assumir valores menores, iguais ou maiores que 1, caracterizando consumo abaixo do previsto, dentro do previsto ou acima do previsto, respectivamente. O consumo energético previsto na residência, no qual a fórmula IC se baseia, pode ser pré-estabelecido pelo consumidor atendendo assim suas necessidades, ou de forma automática, assim como as outras variáveis contidas na fórmula, através das informações enviadas pelos *Smart Meters*, ao SmartCoM.

As variáveis que compõe o IC podem ser configuradas para que o resultado seja diário, semanal ou mensal. Dessa forma, o usuário pode escolher na configuração do sistema, em como irá analisar seu consumo energético através do Índice de Consumo.

Os valores abaixo de 1, apresentados pela fórmula IC não entraram na parametrização do *fuzzy*, pelo fato de não caracterizar um consumo extrapolado, logo não necessitando alertar o usuário. Sendo assim, somente valores entre 1 e  $+\infty$ , foram considerados pertinentes para emitir alerta ao usuário.

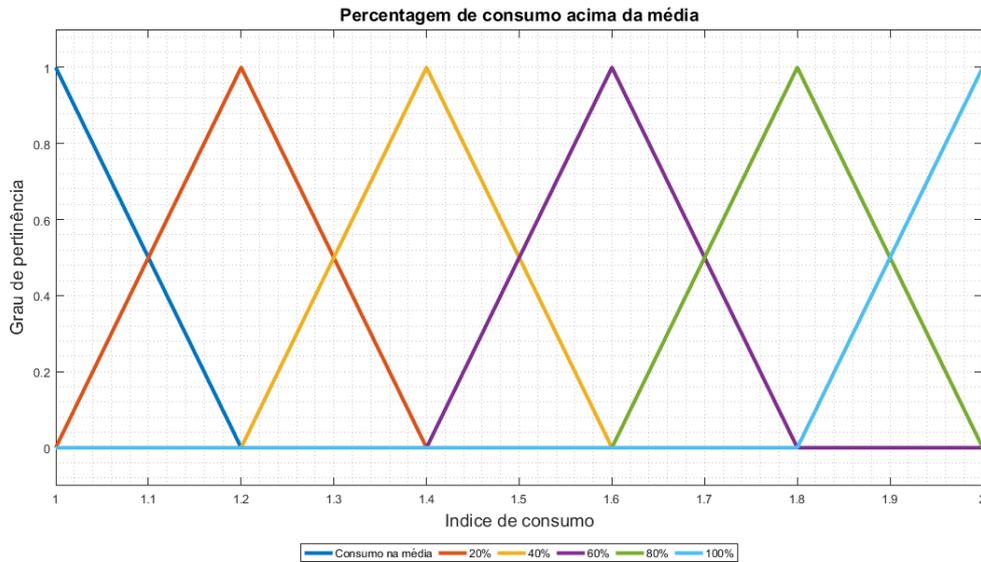
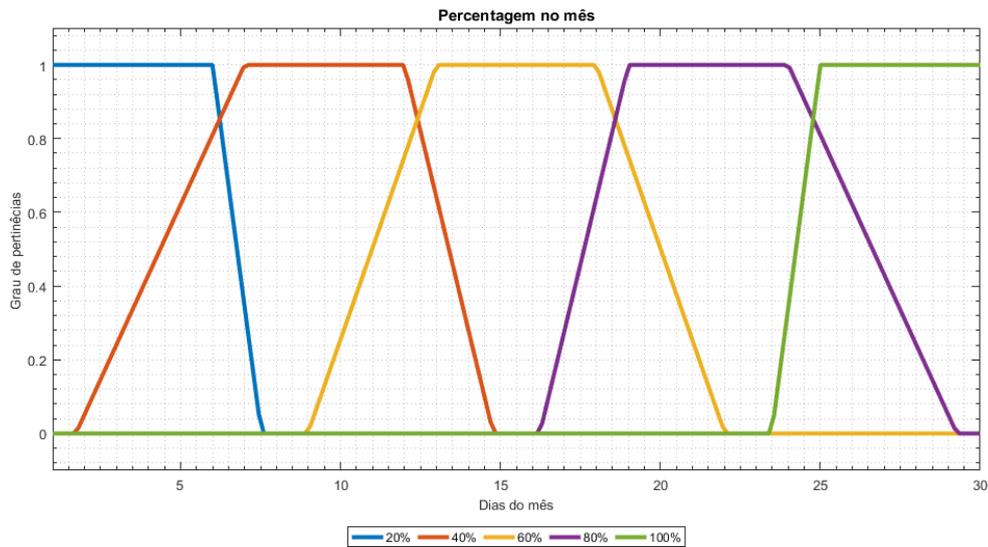


Figura 16. Entrada “Índice de Consumo” no sistema fuzzy.

A entrada Índice de Consumo no sistema de inferência *fuzzy*, é caracterizada por 6 curvas triangulares, cada uma com seu grau de pertinência máximo (1), no eixo y, distribuídos entre uma faixa de possíveis resultados do IC, que no universo estudado, vai de 1 a 2 no eixo x. 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.

#### 4.5.1.2 Porcentagem do Mês

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 trapezoidais, nas quais cada uma representa uma porcentagem do mês, conforme visto na Figura 17.



**Figura 17. Entrada “% mês” no sistema *fuzzy*.**

A primeira trapezoidal, de cor azul, representa seu grau de pertinência máximo (1) no eixo y, até o dia que corresponde a 20% de uma escala de 1 a 30 dias (6º dia). Após o sexto dia, a trapezoidal correspondente à 20% começa a decair gradualmente, enquanto a trapezoidal correspondente à 40% do mês começa a subir, lentamente, até atingir seu grau de pertinência máximo (7º ao 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.

#### **4.5.2 SmartCoM: Sistema *Fuzzy* – Base de Regras e Inferência**

Conforme apresentado na Figura 18, a BR 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 previstas na lógica *fuzzy*, seria possível realizar 30 “*IF-THEN*” regras. Entretanto, para manter a característica nebulosa do sistema *fuzzy*, a análise de um especialista se faz necessária[81] para manter na BR, somente as regras mais pertinentes, visando respostas sejam adequadas 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 [82].

## 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)

Figura 18. Regras do sistema *fuzzy*.

### 4.5.3 SmartCoM: 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 analisada na Figura 19, nas quais têm seus pontos de pertinência nos valores que correspondem a probabilidade de extrapolação do consumo energético. Esta probabilidade é convertida em porcentagem para que o usuário possa interpretar da 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 SERI permite que a tomada de decisão seja realizada com maior precisão, através da análise da previsão de consumo futuro de cada equipamento, no qual pode ser verificada pelo usuário através do seu *smartphone*, dessa forma, o consumidor pode adotar técnicas para redução do consumo, em caso este seja alertado que o seu consumo energético esteja extrapolado.

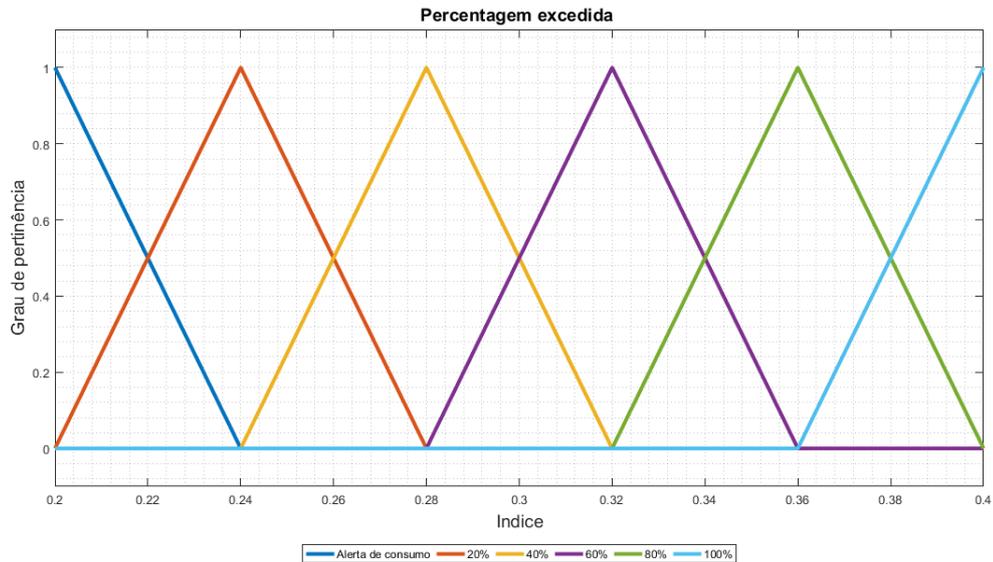


Figura 19. Saída “Consumo Excedido” no sistema fuzzy.

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 optimização do consumo de energia.

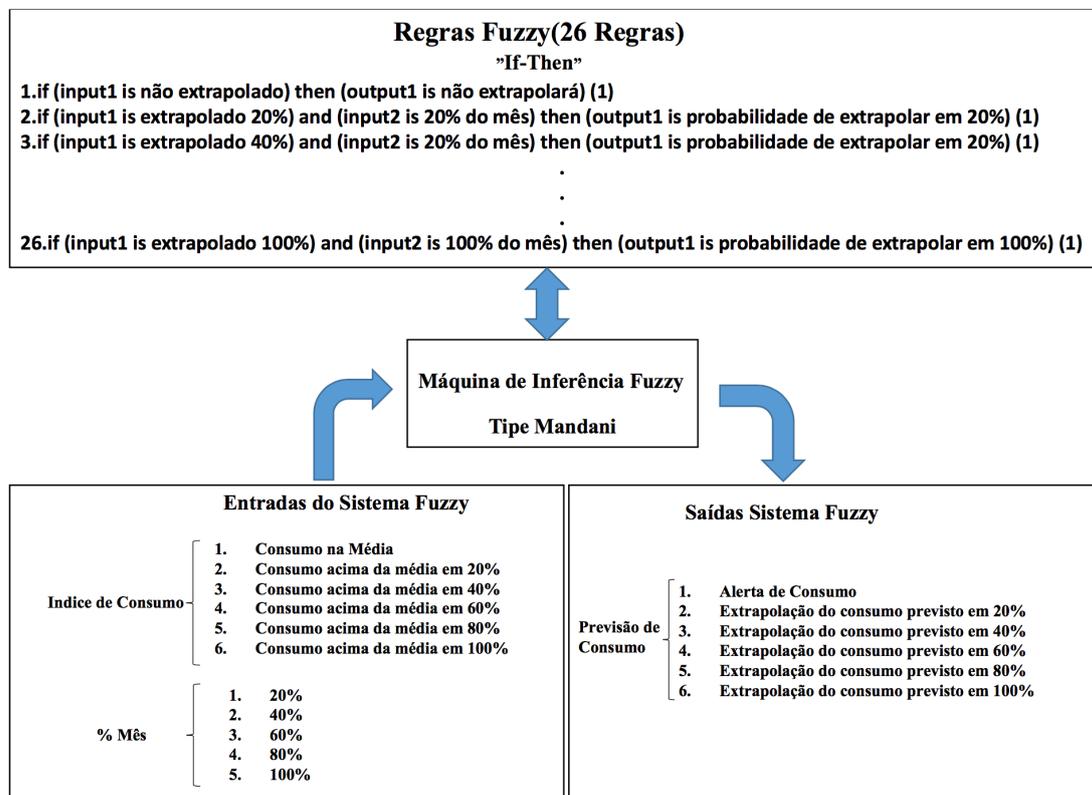


Figura 20. Overview do sistema fuzzy.

## 4.6 SmartCoM: Análise de Conforto

Cada equipamento é utilizado de forma e em intervalos de tempos diferentes por cada usuário, sendo assim, os que são mais utilizados por um período, infere-se que o usuário depende mais da sua utilização no dia-a-dia, logo a retirada destes equipamentos poderia impactar no conforto de cada usuário. Dessa forma, técnicas para redução do consumo energético em um *Smart Home*, mantendo a usabilidade dos eletrodomésticos e o conforto do usuário foi desenvolvida, nos tópicos a seguir.

### 4.6.1 SmartCoM: Análise de Conforto – Ranqueamento

Para definir as estratégias de otimização do consumo de energia, o Índice de Conforto (Icon) pode ser calculado a partir da saída da lógica *fuzzy*.

Visando a estabelecer critérios para uma zona de conforto na relação entre aparelhos eletrodomésticos e níveis de conforto humano, a fórmula do Índice de Conforto (Icon) foi concebida como:

$$Icon = (HUE/HEC) * DS \quad (5)$$

No qual HUE corresponde à Horas de Uso do Equipament; HEC, Horas em Casa; e DS, Dias da Semana.

Na variável HUE, o sistema analisa quantas horas o equipamento “x” é utilizado pelo consumidor. No HEC, o sistema analisa quanto tempo o consumidor permanece em casa e na variável DS, o sistema analisa por quantos dias na semana esse comportamento é repetido.

As variáveis presentes na formulá *Icon*, na sua totalidade, são concebidas a partir da arquitetura SmartCoM, na qual receberá os dados dos *Smart Meters*, estaplhados pela casa.

Com a fórmula, o Icon pode ser estabelecido para cada equipamento e, por conseguinte, quanto maior for o Icon, maior será a dependência do equipamento elétrico no dia a dia do usuário. Com os dados dos Índice de Conforto gerados para cada equipamento, um ranqueamento pode ser feito, tendo como primeiro o equipamento com maior índice e o último, o menor.

#### 4.6.2 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 01

Após o ranqueamento, o consumo energético excedido é retirado do equipamento com menor ICon, conforme mostrado na Figura 21, onde se encontra um cenário hipotético de consumo energético de certos equipamentos, para ilustração. Se, mesmo com a subtração, o consumo energético não estiver dentro dos padrões, o sistema retirará do próximo com menor ICon, até estabilizar o consumo energético previsto.

Equipamentos Ranqueados	Consumo Normal Previsto em Kwh/ Mês	Previsão de Consumo no Mês	Retirando dos Equipamentos com Menos Prioridade
Geladeira	50	50	50
Freezer	60	60	60
Televisão	5	10	10
Chuveiro Elétrico	15	20	10
Total	130	140	130
	<b>O Extrapolamento previsto é de 10Kwh.</b>		

Figura 21. Exemplo 1 perfil 01.

Ao analisar a Figura 21, pode-se inferir que os equipamentos estão na sua ordem ranqueada, sendo a geladeira o eletrodoméstico mais importante, pois obteve o maior ICon. Cada equipamento possui uma média de consumo mensal (também pode ser analisada de forma diária) apresentado na coluna “Consumo Normal Previsto em Kwh/mês”. Essa média mensal é estipulada através de análises pretéritas do consumo de cada equipamento e que também pode ser modificada, de forma manual, pelo usuário. Ao demonstrar um comportamento anômalo que pode acarretar em um consumo energético maior do que o previsto, o sistema tenta balancear desligando o equipamento com menor ICon, no caso, o chuveiro elétrico, no qual antes possuía um consumo de 20Kwh e, após o a técnica presente, foi reduzido para 10Kwh.

Entretanto, já na Figura 22, pode-se analisar que a técnica presente no perfil 01 não apenas desligou o equipamento com menor ICon (chuveiro), bem como também reduziu o tempo de utilização do seu subsequente, a televisão, até o seu consumo que antes era de 25Kwh, chegar a 20 Kwh.

Equipamentos Ranqueados	Consumo Normal Previsto em Kwh/ Mês	Previsão de Consumo no Mês	Retirando dos Equipamentos com Menos Prioridade
Geladeira	50	50	50
Freezer	60	60	60
Televisão	5	25	20
Chuveiro Elétrico	15	15	0
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>150</b>	<b>130</b>
	<b>O Extrapolamento previsto é de 20Kwh.</b>		

Figura 22. Exemplo 2 - perfil 01.

#### 4.6.3 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 02

O perfil 02 é caracterizado por uma abordagem completamente nova, no que tange ao conforto e a utilização dos equipamentos elétricos.

A estratégia é projetada para reduzir o consumo de energia sem a necessidade de que qualquer aparelho doméstico seja desligado, a fim de manter a zona de conforto do usuário. O consumo excessivo de eletricidade será compartilhado entre os aparelhos, uma vez que é necessário manter um sistema de Controle de Energia Inteligente. O CEI será calculado para cada aparelho doméstico e fornecerá as novas demandas energéticas de cada um. Desta forma, um novo consumo disponível, para cada equipamento, será criado. Isso é mostrado na fórmula abaixo:

$$EPC = (ECK \times 100) / ECA \quad (6)$$

$$PEE = (EC \times EPC) / 100 \quad (7)$$

$$SC = (ECK - PEE) \quad (8)$$

No qual na fórmula 6, tem-se EPC pela porcentagem de consumo que o dado equipamento possui em relação a conta energia; ECK, o consumo do dado equipamento em Kwh; ECA, o valor em Kwh do consumo energético total da residência.

Na fórmula 7, o PEE representa a porcentagem no qual dado equipamento irá reduzir do consumo excedido (EC), ao diminuir as horas de utilização no consumo futuro; EC, o consumo excedido/extrapolado da média de consumo.

Em 8, SC será o novo consumo direcionado a cada equipamento, com intuito de reestabelecer o equilíbrio energético, satisfazendo as necessidades de equilíbrio energético presente no CEI.

Conforme presente na figura 23, temos uma simulação de caracter explicativo, no qual demonstra o funcionamento no perfil 02. Na figura, podemos perceber que o consumo padrão desta residência é de 175,25 Kwh (célula em azul). O consumo da residência extrapolou em 12 Kwh (célula em vermelho), desta forma, o consumo subiu para 187,25Kwh (célula laranja).

	Extrapolação em Kwh foi de (EC):	12				
Equipamentos	Consumo em Kwh(ECK)		Porcentagem do consumo total sem a geladeira(EPC)	Porcentagem proporcional a extrapolação sem Geladeira em kwh(PEE)	Valor Final Subtraído após Ação do sistema sem a geladeira em Kwh(SC)	Minutos A SER reduzidos no consumo/mês
Geladeira	130		-	-	-	
Ventilador	24		41,9213973799127	5,03056768558952	18,9694323144105	25
Televisão	2,24		3,91266375545852	0,469519650655022	1,77048034934498	2
Apple Tv	2		3,49344978165939	0,419213973799127	1,58078602620087	2
Home-Theater	4		6,98689956331878	0,838427947598253	3,16157205240175	4
Tv a Cabo	15		26,2008733624454	3,14410480349345	11,8558951965065	16
Chuveiro	8,75		15,2838427947598	1,83406113537118	6,91593886462882	9
Microondas	1,26		2,20087336244541	0,26410480349345	0,99589519650655	1
Ar Condicionado	0		0	0	0	0
	187,25		100%	12	175,25	60
	Kwh padrão Mensal	Kwh padrão Mensal sem geladeira(ECA)				
	175,25	57,25				

Figura 23. Perfil 02.

Com a ação do perfil 02, o EPC de cada equipamento foi calculado na coluna 4, sendo retirado da análise o consumo da geladeira, pois ao trabalhar com o desligamento da mesma, pode acarretar na perda dos alimentos nela presente.

Na coluna 5, foi calculado quanto cada equipamento irá retirar do seu consumo com o intuito de reequilibrar o consumo energético. No caso do ventilador, este representava 41,92 % do consumo total sem a geladeira. Sendo assim, o ventilador ficará com o valor correspondente à 41,92% do que foi extrapolado (12 Kwh), resultando 5,03Kwh. Desta

forma, o novo consumo deste equipamento que antes era de 24Kwh, passará a ser de 18, 96Kwh, no que acarreta em uma redução de 25 min distribuídos ao logo do mês.

Como se pode perceber, a técnica utilizada no perfil 02 tem como norte a utilização de todos os equipamentos durante o período analisado, não necessitando, portanto, o desligamento.

#### **4.6.4 SmartCoM: Análise de Conforto – Perfil 03**

O perfil 03 é o único perfil, dos 3, que tem a característica do consumidor escolher em qual dos equipamentos o valor do consumo excedido, será subtraído. Se porventura, ainda sobrar algum valor do consumo excedido, o consumidor terá que escolher algum outro equipamento para ser subtraído o restante, até o momento em que nenhum valor excedido fique remanescente.

### **4.7 Considerações Finais**

Com a elaboração da técnica em que os perfis analisam o conforto do usuário de forma mais detalhada, o impacto da estratégia do controle energético, tende-se a reduzir bastante, de forma que a redução de consumo, em caso de extrapolação, possa causar menos impacto na experiência do usuário dentro da sua casa. Cada perfil representa uma configuração de controle energético diferente e, dessa forma, cabe ao usuário escolher qual perfil deseja utilizar.

## **5. ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS**

### **5.1 Considerações Iniciais**

Neste capítulo, será apresentado os resultados com dados obtidos através de uma pesquisa de campo, sendo por tanto o estudo de caso, no qual foi implementada a técnica índice de conforto proposta no trabalho, com intuito de validar o conceito que visa a redução do consumo energético extrapolado, com o mínimo de impacto no conforto do usuário.

Todos os resultados obtidos visam os cenários com consumo extrapolado (entrada *fuzzy* índice de consumo  $> 1$ ), com o intuito de que o comportamento dos três perfis possa ser testado.

### **5.2 Pesquisa de Campo**

A pesquisa realizada com intuito de coleta de dados foi realizada por meio da plataforma Google Form, no dia 16/11/2016, possuindo perguntas ao entrevistado que pudessem refletir seu hábito residencial no dia-a-dia, como podem ser vistas nas imagens 24, 25, 26, 27, 28 e 29. A pesquisa tem a intenção de simular a inserção de dados que serão obtidos automaticamente através do *middleware* SmartCoM e inseridos nas variáveis que serão utilizadas nas fórmulas, tais como a ICon e na CEI.

**Pesquisa de Campo Sobre Grau de Dependência de Utensílios Domésticos**

Esta pesquisa tem como objetivo levantar dados sobre o grau de dependência do usuário e os equipamentos domésticos utilizados, com o objetivo de compor resultados para planejamento e desenvolvimento de técnicas de automação inteligentes, de acordo com o perfil e nível de dependência/utilização dos eletrodomésticos. Seus dados serão analisados e armazenados em um banco de dados para utilização em dissertação de mestrado e tese de doutorado.

**\* Required**

**Sexo \***

Masculino

Feminino

**Profissão \***

Your answer \_\_\_\_\_

**Em média, quanto tempo você permanece em casa por dia? \***

Your answer \_\_\_\_\_

**Figura 24. Pesquisa realizada 1/6.**

**Em média, quantos dias da semana você utiliza os equipamentos abaixo?**

	7	6	5	4	3	2	1	0
Aparelho de DVD/Bluray	<input type="radio"/>							
Apple TV	<input type="radio"/>							
Ar condicionado	<input type="radio"/>							
Chuveiro elétrico	<input type="radio"/>							
Computador Desktop	<input type="radio"/>							
Console de Video Game	<input type="radio"/>							
Freezer	<input type="radio"/>							
Ferro de passar elétrico	<input type="radio"/>							
Geladeira	<input type="radio"/>							
Lava Louças	<input type="radio"/>							
Máquina de Lavar	<input type="radio"/>							
Microondas	<input type="radio"/>							
Notebook	<input type="radio"/>							
Roteador WI-FI	<input type="radio"/>							
Secador de Cabelo	<input type="radio"/>							

**Figura 25. Pesquisa realizada 2/6.**

docs.google.com

Untitled form - Google Forms

Pesquisa de Campo Sobre Grau de Dependência de Utensílios Domésticos

Secador de Cabelo	<input type="radio"/>							
Sistema de Sonorização(Home-Theater)	<input type="radio"/>							
Televisão	<input type="radio"/>							
Tostadeira	<input type="radio"/>							
Tv a cabo	<input type="radio"/>							
Ventilador	<input type="radio"/>							

**Em média, assinale o tempo utilizado em cada dispositivo.**  
Há mais opções relacionadas ao tempo, deslizando o mouse para a direita.

	24 horas	Meio Período(12 Horas)	Entre 5~4 horas	4~3 horas	3~2 horas	2~1 horas	30 min ~ 1 hr	30 ~ m
Tostadeira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ferro de passar elétrico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aparelho de DVD/Bluray	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Televisão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Microondas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Roteador Wi-Fi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ar condicionado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Secador de Cabelo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Figura 26. Pesquisa realizada 3/6.**

docs.google.com

Untitled form - Google Forms

Pesquisa de Campo Sobre Grau de Dependência de Utensílios Domésticos

Secador de Cabelo	<input type="radio"/>							
Apple TV	<input type="radio"/>							
Lava Louças	<input type="radio"/>							
Freezer	<input type="radio"/>							
Notebook	<input type="radio"/>							
Chuveiro elétrico	<input type="radio"/>							
Geladeira	<input type="radio"/>							
Tv a Cabo	<input type="radio"/>							
Console de Videogame	<input type="radio"/>							
Sistema de Sonorização(Home-Theater)	<input type="radio"/>							
Computador Desktop	<input type="radio"/>							
Ventilador	<input type="radio"/>							
Máquina de Lavar	<input type="radio"/>							

Em um grau de 1 a 5, onde 1 é pouca dependência e 5 é extremamente dependente, assinale o seu grau de dependência nos equipamentos abaixo.

	5	4	3	2	1
	<input type="radio"/>				

**Figura 27. Pesquisa realizada 4/6.**

Em um grau de 1 a 5, onde 1 é pouca dependência e 5 é extremamente dependente, assinale o seu grau de dependência nos equipamentos abaixo.

	5	4	3	2	1
Ar condicionado	<input type="radio"/>				
Tostadeira	<input type="radio"/>				
Lava Louças	<input type="radio"/>				
Apple TV	<input type="radio"/>				
Console de Videogame	<input type="radio"/>				
Máquina de Lavar	<input type="radio"/>				
Chuveiro elétrico	<input type="radio"/>				
Televisão	<input type="radio"/>				
Secador de Cabelo	<input type="radio"/>				
Notebook	<input type="radio"/>				
Freezer	<input type="radio"/>				
Roteador Wi-Fi	<input type="radio"/>				
Computador Desktop	<input type="radio"/>				
Geladeira	<input type="radio"/>				

**Figura 28. Pesquisa realizada 5/6.**

Notebook	<input type="radio"/>				
Freezer	<input type="radio"/>				
Roteador Wi-Fi	<input type="radio"/>				
Computador Desktop	<input type="radio"/>				
Geladeira	<input type="radio"/>				
Ventilador	<input type="radio"/>				
Tv a Cabo	<input type="radio"/>				
Aparelho de DVD/Bluray	<input type="radio"/>				
Microondas	<input type="radio"/>				
Sistema de Sonorização (Home-Theater)	<input type="radio"/>				
Ferro de passar elétrico	<input type="radio"/>				

**SUBMIT**

Never submit passwords through Google Forms.

This content is neither created nor endorsed by Google. Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms

Google Forms

**Figura 29. Pesquisa realizada 6/6.**

A lista dos equipamentos presentes na pesquisa, foi formulada com os equipamentos mais comuns nas residências segundo [11], e com acréscimo deliberadamente de outros.

### 5.2.1 Resultado da pesquisa de campo

A pesquisa contou com a participação de 108 pessoas, nas quais 58.3% foram do sexo feminino e 41.7% do masculino.

Com os dados obtidos no questionário, a fórmula ICon poderá ser alimentada, sendo o resultado desta os equipamentos eletrônicos reordenados conforme seu grau de dependência em relação ao usuário. Desta forma, a variável HEU pode ser obtida através da média das respostas da pergunta número 5; a HAH, através da média das respostas da pergunta número 3 e a DW, através da média das respostas da pergunta 4, conforme apresentado na Figura 30.

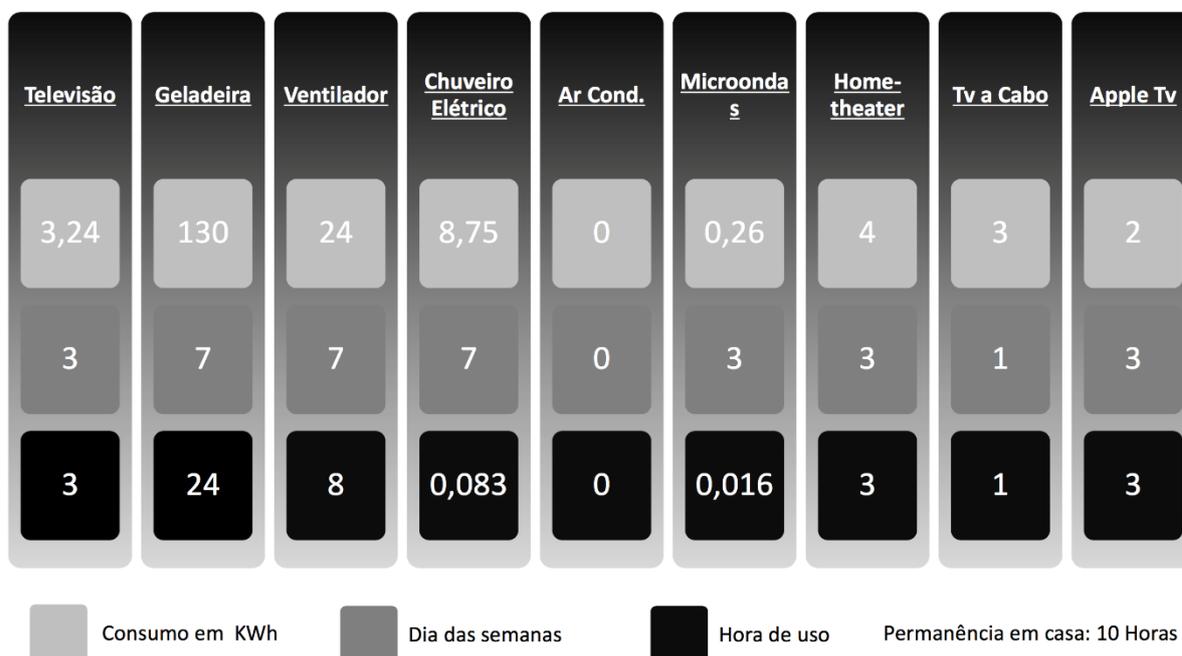


Figura 30. Média dos dados obtidos no questionamento com equipamentos não reordenados.

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 30, em relação à pesquisa, 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.

### 5.3 Aplicação da fórmula ICon nos resultados obtidos

Ao aplicar a fórmula ICon nos equipamentos presentes na Figura 31, tem-se:

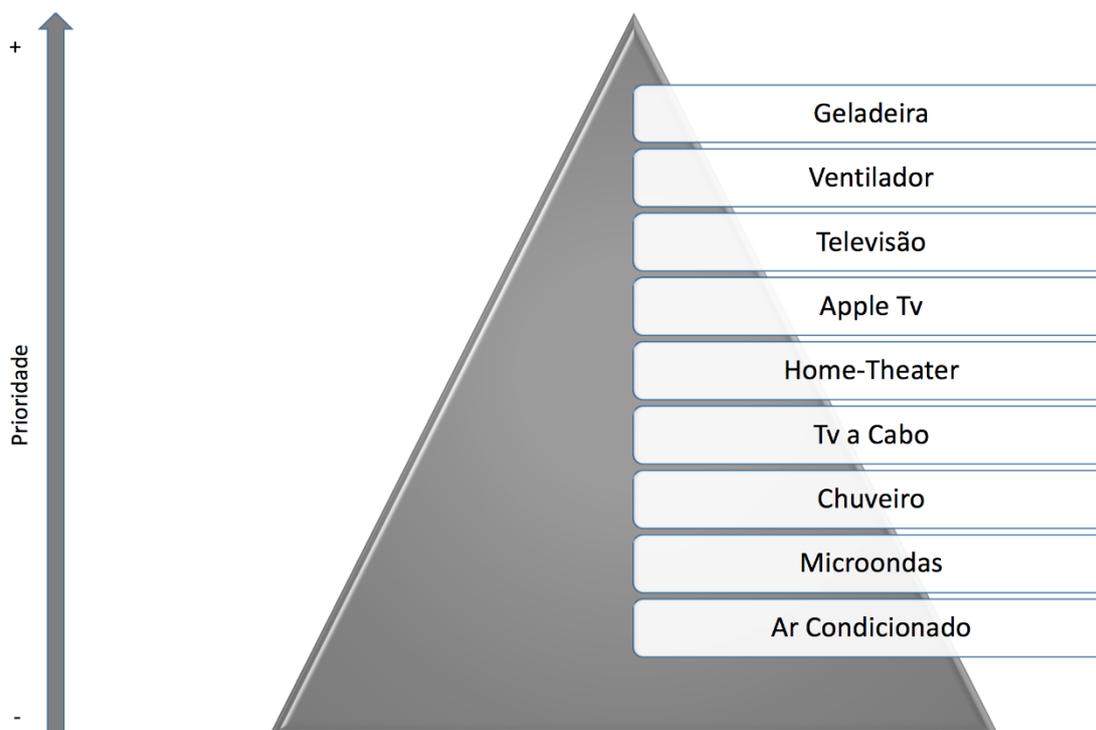


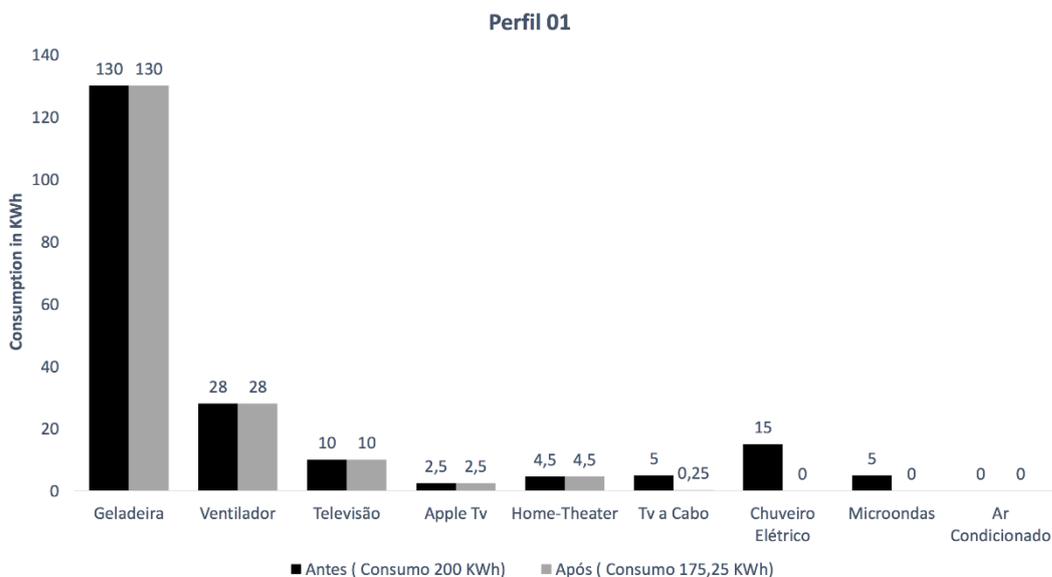
Figura 31. Equipamentos reordenados baseados na fórmula ICon.

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 extrapolação.

### 5.4 Resultados dos perfis

#### 5.4.1 Perfil 01

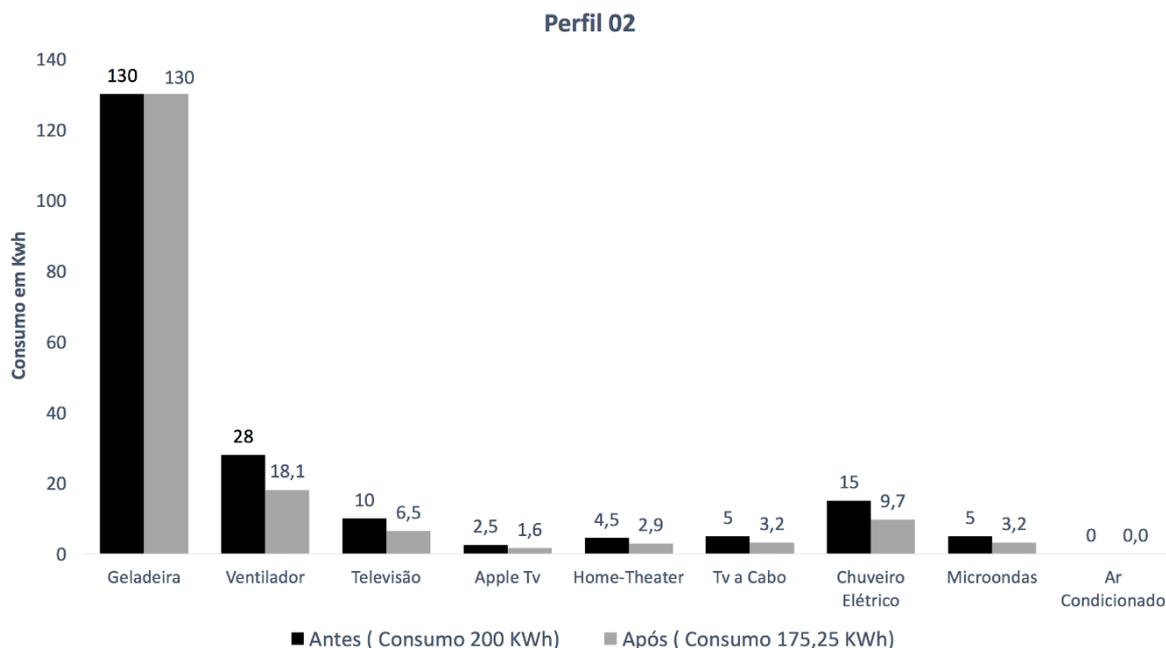
O consumo excedido foi retirado dos equipamentos com menor grau de dependência, no qual são os últimos à direita no eixo horizontal. O valor excedido, no caso, foi o de 24,75 KWh e este foi retirado do consumo futuro, primeiramente, do ar condicionado, e depois, seguindo a sequência micro-ondas, chuveiro 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 32.



**Figura 32. Resultado após a utilização do perfil 01.**

#### 5.4.2 Perfil 02

O perfil 02, ao se utilizar da fórmula CEI, retira proporcionalmente de cada eletrodoméstico, um determinado valor em KWh do seu consumo futuro, no qual é baseado na porcentagem deste equipamento em relação ao consumo total (200KWh), conforme se pode analisar na Figura 33. Essa subtração tem como intenção estabilizar de forma proporcional e menos impactante, o consumo energético, visando o 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.

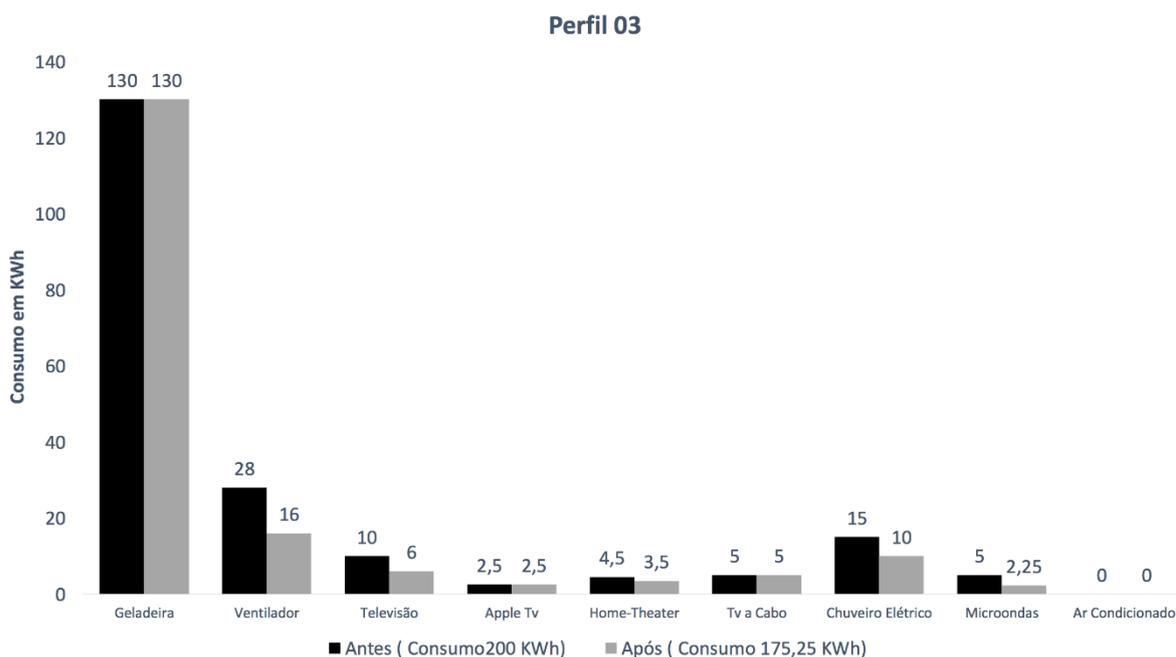


**Figura 33. Resultado após a utilização do perfil 02.**

### 5.4.3 Perfil 03

O perfil 03, com o resultado presente na Figura 34, 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 34. Resultado após a utilização do perfil 03.**

### 5.4.4 Tabela comparativa na base do tempo

Na tabela 01, é feita uma análise dos perfis na base no tempo, no qual se pode analisar a redução do consumo após a ação de cada perfil. Esta análise visa a um compendimento maior do consumidor, ao saber que uma quantidade de tempo será subtraída do consumo futuro de cada equipamento e não tão somente um valor em KWh, que por muitas das vezes pode ser mal interpretado ou o usuário não ter conhecimento da medida característica do consumo energético.

**Tabela 2. Redução de consumo na base do tempo após os perfis 01, 02, 03.**

Equipamento	Horas de uso prévio	Perfis		
		01	02	03
Geladeira	24 h 0 min 0 seg.	24 h 0 min 0 seg.	24 h 0 min 0 seg.	24 h 0 min 0 seg.
Ventilador	8 h 0 min 0 seg.	8 h 0 min 0 seg.	5 h 10 min 0 seg.	4 h 34 min 0 seg.
Televisão	3 h 0 min 0 seg.	3 h 0 min 0 seg.	1 h 57 min 0 seg.	1 h 48 min 0 seg.
Apple Tv	3 h 0 min 0 seg.	3 h 0 min 0 seg.	1 h 55 min 0 seg.	3 h 0 min 0 seg.
Home-Theater	3 h 0 min 0 seg.	3 h 0 min 0 seg.	1 h 56 min 0 seg.	2 h 20 min 0 seg.
Tv a cabo	1 h 0 min 0 seg.	0 h 3 min 0 seg.	0 h 38 min 0 seg.	1 h 0 min 0 seg.
Chuveiro Elétrico	0 h 5 min 0 seg.	0 h 0 min 0 seg.	0 h 3 min 13 seg.	0 h 3 min 19 seg.
Microondas	0 h 1 min 0 seg.	0 h 0 min 0 seg.	0 h 0 min 37 seg.	0 h 0 min 26 seg.
Ar Condicionado	0 h 0 min 0 seg.	0 h 0 min 0 seg.	0 h 0 min 0 seg.	0 h 0 min 0 seg.

#### **5.4.5 Controle do usuário via celular**

A visualização do consumo real e futuro mostrados na Figura 35, dá-se a partir do celular do usuário, no qual este poderá ver os possíveis cenários, tanto em termos de consumo futuro, como em horas de utilização de cada equipamento, antes da escolha do perfil mais adequado para a redução do consumo energético extrapolado. Desta forma, o usuário poderá selecionar o perfil e rearranjar o consumo energético de forma menos impactante para o seu conforto.

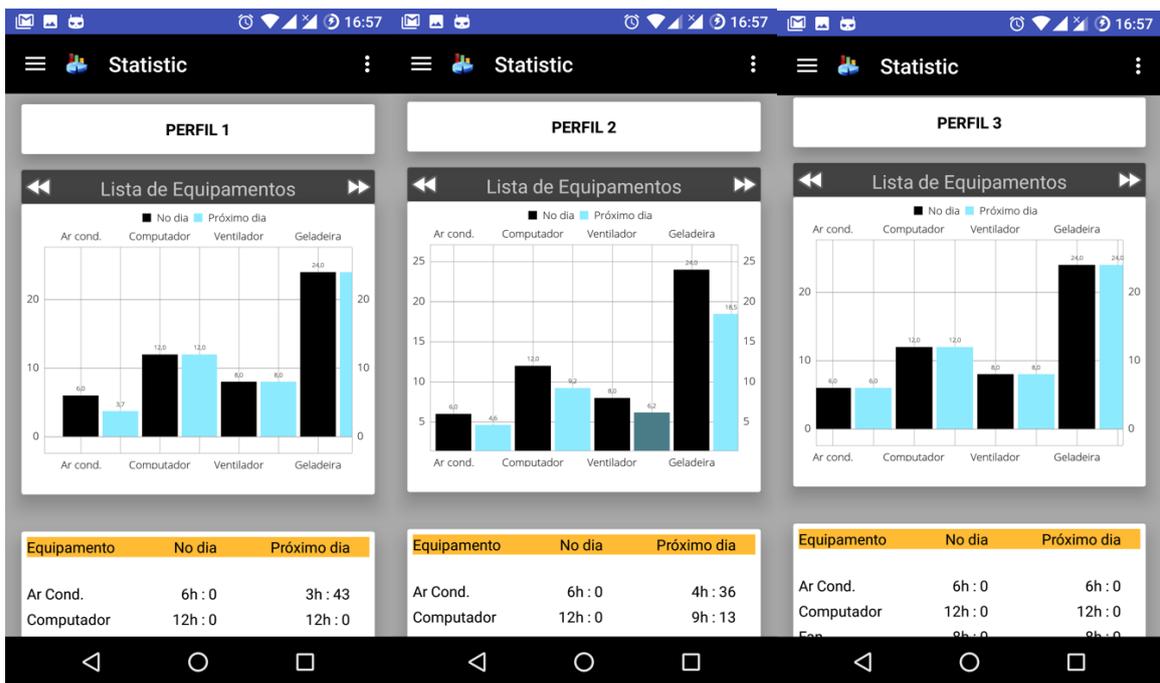


Figura 35. Visualização da ação do perfil na tela de um *smartphone*.

## 5.5 Considerações Finais

A escolha de um perfil para gerenciar o consumo energético quando extrapolado, mostrou-se uma técnica bastante eficaz, tanto na redução do excesso extrapolado, quanto na manutenção do conforto do usuário. O impacto no bem-estar do usuário ao se utilizar um dos 3 perfis abordados é mínimo, o que corrobora para a validação da técnica. A geladeira é o único eletrodoméstico que não entra na redistribuição energética, bem como no possível desligamento em caso de extrapolação, pois como dentro desta possui alimentos que necessitam congelamento 24 horas, ou que precisam permanecer em alguma temperatura específica, a alteração no seu ciclo de funcionamento pode impactar na qualidade dos alimentos presentes.

Todos os resultados obtidos foram os esperados, dentro das variações propostas como norte para o experimento. O SERI, embarcado no middleware SmartCoM, já se encontra em um estágio de consolidação e adequado à sua utilização.

## 6. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou um método de tomada de decisão inteligente (SIATD), aplicando sistema *fuzzy* para alertar o usuário sobre o consumo excessivo de energia, com o intuito de reequilibrar o consumo energético através da ação de perfis pré-estabelecidos com características únicas e distintas, no qual visam reequilibrar o consumo energético residencial de forma inteligente (SERI). Cada perfil é apresentado ao usuário, através do aplicativo desenvolvido para o SmartCoM, com o intuito de que o usuário possa 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.

### 6.1 Contribuições da dissertação

- A proposta de uma técnica para a redução inteligente do consumo elétrico extrapolado, 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 índice de satisfação 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.
- A flexibilidade da técnica 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.
- A implementação da lógica *fuzzy* visando à tomada de decisão em um ambiente constantemente mutável, compreendendo as principais características, aspectos envolvidos e a caracterização do modelo de estudo no Matlab.
- Elaboração de uma fórmula matemática, baseada na relação de dependência entre o consumidor e seus eletroeletrônicos. Com a criação dessa equação, pode-se analisar quais equipamentos trazem mais ou menos conforto ao consumidor.

- A aceitação do trabalho em 6 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)
  - 3<sup>rd</sup> International conf on Advanced Intelligent systems and Informatics 2017(AISI 2017 -Cairo - Egito)
  - 3<sup>rd</sup> EAI International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems (INISCOM 2017 - Ho Chi Minh City - Vietinam)
  - 6<sup>th</sup> IEEE International Conference on Computer Application in Eletrical Engineering – Recent Advances (CERA – Roorkee - India)
  - 58<sup>th</sup> International Scientific Conference on Power and Eletrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON – Riga - Letônia)
- A divulgação de trabalho apresentado em conferência e publicado no *Journal of Ambient Intelligence & Humanized Computing* (fator: 1.5) e também no *Springer Lecture Notes in Computer Science* (LNCS – fator: 0.8):

ANDRADE, S. H. M. S., OLIVEIRA, E. L., ALFAIA, R. D., SOUTO, A. V. F., VIJAYKUMAR, N. L., FRANCÊS, C. R. L., Adopting Fuzzy Technique to Save Energy in Smart Home Control System. Trabalho completo aceito para publicação no

## 6.2 Trabalhos Futuros

Como possíveis desdobramentos deste trabalho, vislumbram-se:

- A realização de novos estudos, com a possibilidade de análise dos dados provindos de uma casa com vários integrantes, possibilitando que o ICon não seja calculado para somente um integrante e sim de uma foma ampla que abranja e satisfaça a todos os usuários.
- 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.

- No mesmo diapasão, extrapolar os estudos para meta-heurísticas que se destinem à otimização (por exemplo: AG e PSO), de maneira a proporcionar aos consumidores os valores ótimos de consumo de energia;
- Aperfeiçoamento da fórmula ICon para a obtenção do índice de conforto com mais fidelidade e representatividade à interação do ser humano com os equipamentos elétricos.
- Embarcar novos métodos de sensoriamentos e transmissão de dados, com menos intervenção na casa a ser instalada o SmartCom.
- Suporte à microgeração, com o intuito de dinamizar o consumo energético residencial;
- Propor métodos para a inclusão de tarifas diferenciadas ao longo do dia, na técnica presente no trabalho aqui abordado;

Além disso, em trabalhos futuros, pretende-se aprofundar os estudos na tecnologia Li-Fi (Light Fidelity), no qual o sistema comunicação se dá por meio da luz, sendo até 250 vezes mais rápido do que o padrão Wi-Fi. Desta forma, a “avalanche” de informações produzidas pelos sistemas presentes nas *Smart Homes* e pelo SERI, poderão ser mais fluidas e fáceis de transmitir os dados em tempo real, com menor consumo energético.

### **6.3 Dificuldades Encontradas**

O desenvolvimento do trabalho encontrou uma série de dificuldades que perpassaram desde encontrar uma técnica computacional que suprisse as necessidades e limitações da proposta da *middleware* proposto no SmartCom, até a falta de artigos que corroborassem com uma tomada de decisão energética inteligente baseada no conforto do usuário.

Com a falta de referências completas atuais, a formação da bibliografia teve que ser retirada de passagens isoladas de vários artigos, no qual alguns tratavam somente do conforto humano, outros sobre técnicas inteligentes para manejo energético e, por último, artigos os quais tratavam superficialmente do manejo energético em conjunto com o conforto, mas por muitas das vezes, com uma abordagem sem uma explicação mais adequada sobre em como a tomada de decisão era feita baseada no conforto do usuário. Sendo assim, o estudo da pesquisa teve que permear pelos ramos da arquitetura, no que tange o conforto ambiental e itens que corroboram com o bem-estar residencial entre residentes. Por se tratar de uma área na qual não estava prevista ser abordada no trabalho, um certo tempo foi necessário para entender as variáveis presentes em todas as relações

intra-residênciais. Além da matemática, já que todas as conclusões tomadas devem ter embasamento estatístico. Entre as dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho, destacam-se:

- A dificuldade de escolha de um *software* que se adequasse aos objetivos do estudo e oferecesse bom suporte para uso.
- O estudo mais aprofundado da linguagem de programação presente na plataforma MATLAB, necessária para a aferição, simulação e o tratamento das variáveis que compõe a fórmula IC, bem como para a utilização da *Toolbox* de inteligência artificial para a aplicação da técnica *fuzzy* no trabalho.
- O levantamento detalhado sobre interrelação entre consumidor e equipamentos eletrodomésticos, e o grau de dependência que essa relação provoca.
- 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 SERI, mesmo a partir dos resultados das simulações.
- A quantidade de simulações e o tempo necessário para realizá-las.
- A análise de cada perfil e sua forma de comportamento em relação à regulação do consumo energético excedido, no qual levou vários dias para parametrizá-los, de forma correta e precisa, para que corroborasse proposta da redução do consumo. Especialmente o perfil 02, no qual se utilizou de ferramentas estatísticas mais intensamente para a sua elaboração.

## Referências

- [1] M. A. Hammoudeh, F. Mancilla-David, J. D. Selman, and P. Papantoni-Kazakos, "Communication architectures for distribution networks within the smart grid initiative," in *IEEE Green Technologies Conference*, 2013, pp. 65–70.
- [2] M. Hashmi, S. Hänninen, and K. Mäki, "Developing smart grid concepts, architectures and technological demonstrations worldwide - a literature survey," *Int. Rev. Electr. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 236–252, 2013.
- [3] R. W. Uluski, "The role of Advanced Distribution Automation in the Smart Grid," *Power Energy Soc. Gen. Meet. 2010 IEEE*, pp. 1–5, 2010.
- [4] J. Dedrick and Y. Zheng, "Information Systems and Smart Grid: New Directions for the IS Community," pp. 897–899, 2013.
- [5] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 5–20, 2013.
- [6] M. Dong, P. C. M. Meira, W. Xu, and W. Freitas, "An event window based load monitoring technique for smart meters," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 2, pp. 787–796, 2012.
- [7] W. Xu and M. Dong, "Tracking energy consumptions of home appliances using electrical signature data," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–5, 2012.
- [8] X. Fan and G. Gong, "Security challenges in smart-grid metering and control systems," *Technol. Innov. Manag. Rev.*, no. July, pp. 42–49, 2013.
- [9] T. Lips, "Analysis and Comparison of Smart Homes," UNIVERSITY OF TARTU, 2012.
- [10] MME, "Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2014," *Ministério Minas e Energ.*, pp. 1–32, 2015.
- [11] Eletrobras/Procel, "Resultados Procel 2014," 2014.
- [12] M. McGranaghan, D. Von Dollen, P. Myrda, and E. Gunther, "Utility experience with developing a smart grid roadmap," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, pp. 1–5.
- [13] U.S. Department of Energy, "The Smart Grid: An Introduction," *Communication*, vol. 99, p. 48, 2010.

- [14] C. Greer *et al.*, “NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0,” Gaithersburg, MD, Oct. 2014.
- [15] P. Palensky and D. Dietrich, “Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
- [16] Z. Chen, L. Wu, and Y. Fu, “Real-time price-based demand response management for residential appliances via stochastic optimization and robust optimization,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1822–1831, 2012.
- [17] M. Parvania, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Shahidehpour, “Demand response participation in wholesale energy markets,” in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2012.
- [18] A. Shishebori and A. Rahimi kian, “Risk analysis for distribution company energy procurement with pool market, DGs and demand response,” in *2010 18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2010, pp. 949–954.
- [19] C.-L. Su and D. Kirschen, “Quantifying the Effect of Demand Response on Electricity Markets,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1199–1207, 2009.
- [20] B. André, “Conceito de smart home.” [Online]. Available: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI336589-18537,00-REDE+ELETRICA+INTELIGENTE+PROMETE+ECONOMIA+DE+ATE+NO+CONSUMO.html>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [21] A. Wright and D. F. Sittig, “A framework and model for evaluating clinical decision support architectures,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 41, no. 6, pp. 982–990, 2008.
- [22] P. D. J., “Concepts and Resources for Managers,” *Decis. Support Syst.*, 2002.
- [23] R. Matthews, W. Stephens, T. Hess, T. Middleton, and A. Graves, “Applications of crop/soil simulation models in tropical agricultural systems,” in *Advances in Agronomy*, vol. Volume 76, 2002, pp. 31–124.
- [24] W. Stephens and T. Middleton, “Why has the uptake of decision support systems been so poor?,” in *Crop-soil simulation models: applications in developing countries*, Wallingford: CABI, 2010, pp. 129–147.
- [25] E. Turban, J. Aronson, and T. Llang, “Decision Support Systems and Intelligent Systems,” *Decis. Support Syst. Intell. Syst.*, p. 867, 2007.
- [26] A. H. GhaffarianHoseini, N. D. Dahlan, U. Berardi, A. GhaffarianHoseini, and N. Makaremi, “The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 593–607, 2013.

- [27] H. W. Kua and S. E. Lee, "Demonstration intelligent building - A methodology for the promotion of total sustainability in the built environment," *Build. Environ.*, vol. 37, no. 3, pp. 231–240, 2002.
- [28] L. S. Brito, "casa-inteligente," 2017. [Online]. Available: <http://luizabrito67.blogspot.com.br/2012/01/casa-inteligente.html>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [29] World Health Organization, "WHO | Global Health Estimates 2014 Summary Tables," 2014.
- [30] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, N. Pichler-Milanovic, and E. Meijers, "The smart city model," *Smart-Cities.Eu*, 2011. [Online]. Available: <http://www.smart-cities.eu/model.html>.
- [31] European Innovation Partnership, "European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities Strategic Implementation Plan," *European Innovation Partnership on Smart Cities 2013*, no. Strategic Implementation Plan, 2013.
- [32] R. Giffinger, "Smart cities Ranking of European medium-sized cities," *October*, vol. 16, no. October, pp. 13–18, 2007.
- [33] A. All, R. Reserved, and H. P. Delivered, "Amsterdam Smart City," *URENIO Research Unit*, 2011. [Online]. Available: <http://www.urenio.org/2011/04/20/amsterdam-smart-city-smart-stories-2011/>.
- [34] M. H. J. Bollen, "The Smart Grid: Adapting the Power System to New Challenges," *Synth. Lect. Power Electron.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–180, Sep. 2011.
- [35] V. C. Gungor *et al.*, "Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards," *Ind. Informatics, IEEE Trans.*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [36] M. Uslar, "Introduction and Smart Grid Basics," in *Standardization in Smart Grids: Introduction to IT-Related Methodologies, Architectures and Standards*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 3–12.
- [37] R. C. Ibelli, "Nova luz para as trapalhadas da energia," 2001. [Online]. Available: <http://especiais.dcomercio.com.br/luz-energia-brasil/>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [38] N. Uribe-Pérez, L. Hernández, D. de la Vega, and I. Angulo, "State of the Art and Trends Review of Smart Metering in Electricity Grids," *Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, p. 68, Feb. 2016.
- [39] J. Zheng, L. Lin, and D. W. Gao, "Smart Meters in Smart Grid : An Overview," pp. 57–64, 2013.
- [40] U. Experience, "Smart Meters Energy Metering Smart Smart Meters Billion Smart

- Home Home Energy Management – Beyond the Numbers,” 2010.
- [41] M. Brink, “Future-proof platforms for aging-in-place Eindhoven,” Technische Universiteit Eindhoven, 2013.
- [42] B. Asare-Bediako, W. L. Kling, and P. F. Ribeiro, “Home energy management systems: Evolution, trends and frameworks,” *47th Int. Univ. Power Eng. Conf.*, pp. 1–5, 2012.
- [43] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless sensor network survey,” *Comput. Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, 2008.
- [44] F. Bliet *et al.*, “PowerMatching City, a living lab smart grid demonstration,” in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe*, 2010.
- [45] R. Rashed Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi, and K. Raahemifar, “A survey on Advanced Metering Infrastructure,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 63. pp. 473–484, 2014.
- [46] E. Inteligente, “Especial – Automação residencial : tecnologia e bem estar,” 2014. [Online]. Available: <http://energiainteligenteufjf.com/especial/especial-automacao-residencial-tecnologia-e-bem-estar/>. [Accessed: 05-Jun-2017].
- [47] I. Dusparic, C. Harris, A. Marinescu, V. Cahill, and S. Clarke, “Multi-agent residential demand response based on load forecasting,” in *2013 1st IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2013, pp. 90–96.
- [48] D. O’Neill, M. Levorato, A. Goldsmith, and U. Mitra, “Residential Demand Response Using Reinforcement Learning,” *2010 First IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, pp. 409–414, 2010.
- [49] T. T. Kim and H. V. Poor, “Scheduling Power Consumption With Price Uncertainty,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 519–527, Sep. 2011.
- [50] H. Lee, W. Park, and I.-W. Lee, “A Home Energy Management System for Energy-Efficient Smart Homes,” in *2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*, 2014, vol. 2, pp. 142–145.
- [51] I. Ullah *et al.*, “A Survey of Home Energy Management for Residential Customers,” in *2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2015, vol. 2015–April, pp. 666–673.
- [52] A. Mahmood *et al.*, “A Survey of ‘User Comfort’ in Home Energy Management Systems in Smart Grid,” in *2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 2015, pp. 36–43.
- [53] E. Oliveira, “Proposta de Arquitetura de Middleware para Provimento de

- Interoperabilidade em Smart Grids,” Universidade Federal do Pará, 2013.
- [54] R. Alfaia D. and A. Souto, “Definição e implementação de uma arquitetura inteligente para monitoramento e gerenciamento de consumo de energia baseado em Smart Home,” Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.
- [55] S. Deb, P. K. Bhowmik, and A. Paul, “Remote detection of illegal electricity usage employing smart energy meter-A current based technique,” in *2011 IEEE PES International Conference on Innovative Smart Grid Technologies-India, ISGT India 2011*, 2011, pp. 391–395.
- [56] R. Andrade, S.H.; Oliveira, E.; Alfaia, R.; Souto, A.; Vijaykumar, L.N.; Frances, “SmartCoM: Smart Consumption Management Architecture for Providing a User-Friendly Smart Home based on Metering and Computational Intelligence,” in *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, 2017, p. 13.
- [57] G. A. Council, “GridWise Interoperability Context-Setting Framework,” *Smart Grids Interoperability*, pp. 1–52, 2008.
- [58] IEEE Std 2030-2011, *IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads*, no. September. 2011.
- [59] J. Han, C. Choi, and W. Park, “Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC,” *IEEE Int. Conf. Consum. Electron.*, pp. 544–545, 2014.
- [60] E. Hagenbeck, N. B. Santos, R. Cavalcante, and H. Macedo, “Using fuzzy logic in smart homes lighting controllers,” in *2016 8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS)*, 2016, pp. 1–4.
- [61] A. Sala and P. Albertos, “Fuzzy Logic Controllers: Advantages and Drawbacks,” *Anales*, vol. III. pp. 833–844, 1998.
- [62] D. G. de S. Rignel, G. P. Chenci, and C. A. Lucas, “Uma introdução a lógica,” *Rev. eletrônica Sist. Informação e Gestão Tecnológica*, vol. 1, no. 1, pp. 17–28, 2011.
- [63] H. Singh *et al.*, “Real-Life Applications of Fuzzy Logic,” *Adv. Fuzzy Syst.*, vol. 2013, pp. 1–3, 2013.
- [64] L. K. Letting, J. L. Munda, and 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.
- [65] J. H. Lilly, *Fuzzy Control and Identification*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

- [66] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 419–435, 1990.
- [67] L. A. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [68] J. Virant, "Fuzzy Operations and Relations," in *Design Considerations of Time in Fuzzy Systems*, Boston, MA: Springer US, 2000, pp. 19–45.
- [69] 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.
- [70] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," *Proc. Inst. Electr. Eng.*, vol. 121, no. 12, p. 1585, 1974.
- [71] Mamdani, "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis," *IEEE Trans. Comput.*, vol. C-26, no. 12, pp. 1182–1191, Dec. 1977.
- [72] D. K. Chaturvedi, *Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink*, 1 edition. CRC Press, 2010.
- [73] T. Takagi and 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, 1985.
- [74] 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, 1997.
- [75] K. Tanaka and H. O. Wang, "*Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*," 1st Editio. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [76] V. Jotsov and 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, 2008.
- [77] 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, 1999.
- [78] D. Sharma, "Designing and Modeling Fuzzy Control Systems," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 16, no. 1, pp. 46–53, Feb. 2011.
- [79] T. J. (University of N. M. Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*. 2010.
- [80] 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.

- [81] H. Nomura, I. Hayashi, and N. Wakami, "A learning method of fuzzy inference rules by descent method," in *[1992 Proceedings] IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1992, pp. 203–210.
- [82] J. M. Garibaldi and C. Wagner, "L -Fuzzy Inference," in *2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) July*, 2014, p. 8.