

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

**MGI: MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO
DO CONFORTO TÉRMICO DO USUÁRIO EM SMART HOME**

RODRIGO DIAS ALFAIA

DM 30/2018

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2018

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

RODRIGO DIAS ALFAIA

**MGI: MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO
DO CONFORTO TÉRMICO DO USUÁRIO EM SMART HOME**

DM 30/2018

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2018

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

RODRIGO DIAS ALFAIA

**MGI: MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO
DO CONFORTO TÉRMICO DO USUÁRIO EM SMART HOME**

DM 30/2018

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A385m Alfaia, Rodrigo Dias
MGI: MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO DO USUÁRIO EM SMART HOME / Rodrigo Dias Alfaia. — 2018
70 f. : il. color

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Instituto de
Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês

1. Internet das Coisas. 2. Fuzzy. 3. SmartCoM. 4. Smart Home. I. Francês, Carlos Renato Lisboa, *orient.*
II. Título

CDD 006.3

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

**“MGI: MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE PARA OTIMIZAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO DO USUÁRIO EM SMART HOME”**

AUTOR: RODRIGO DIAS ALFAIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 31/08/2018

BANCA EXAMINADORA:



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



Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva
(Avaliador Interno – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. Edvar da Luz Oliveira
(Avaliador Externo – UFRA)

VISTO:



Prof.^a Dr.^a Maria Emília de Lima Tostes
(Coordenadora do PPGEE/ITEC/UFPA)

"Dedico especialmente aos meus pais, por sempre me apoiarem em tudo! a minha namorada/esposa Mila Façanha, pelo apoio e incentivo e a minha irmã e familiares."

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus

Agradeço ao meus pais (Januário Alfaia e Sonia Alfaia), responsáveis pela pessoa que me tornei, dedico todas as minhas conquistas aos dois, minha irmã Vanessa Alfaia, que sempre está ao meu lado, e a toda minha família.

A minha namorada/esposa Mila Façanha, pela ajuda e apoio, sem você seria muito mais difícil, a minha sogra Simone Façanha, que sempre está disposta a me ajudar.

Agradeço Ao meu Orientador Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês, pela imensa paciência, orientação, inspiração e pelo conhecimento repassado.

Agradeço ao Prof. Dr. Edvar da Luz Oliveira, pelo conhecimento repassado, obrigado pela atenção, amizade e dedicação desde a graduação.

Agradeço ao meteorologista André Bezerra Oliveira, pela ajuda e conhecimento repassado.

Agradeço o Anderson Souto, Lucky Luciano, Áurea Milene, Evelin Cardoso, Priscila Aranha, Eulália (eulab), Penha, Ketyllen, Delson oliveira, Jonatã, Sérgio Andrade aos amigos(as) que direta ou indiretamente deram apoio e motivação para a conclusão de mais uma etapa em minha vida.

As amigas que foram constituídas no LPRAD durante esses dois anos, nós compartilhamos alegrias, tristezas e sucessos. Obrigado por esses momentos.

Aos professores e a secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE¹) que com seus ensinamentos contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço a CAPES² pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), pela oportunidade dada a mim para a realização desta dissertação.

¹ <<http://www.ppgee.ufpa.br>>

² <<http://www.capes.gov.br>>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação e Caracterização do Problema	14
1.2	Objetivo	20
1.3	Organização da Dissertação	21
2	CONFORTO TÉRMICO	22
2.1	Considerações Iniciais	22
2.2	Conceitos, Normas e Índices de Satisfação para o Conforto Térmico	22
2.3	Considerações Finais	29
3	LÓGICA FUZZY	30
3.1	Considerações iniciais	30
3.2	Inteligência Computacional	30
3.3	Lógica <i>Fuzzy</i>	32
3.3.1	Função de Pertinência	33
3.3.2	Regras <i>Fuzzy</i>	35
3.3.3	Estrutura do Controlador <i>Fuzzy</i>	35
3.4	Considerações Finais	37
4	TRABALHOS CORRELATOS	38
4.1	Considerações Iniciais	38
4.2	Conforto Térmico e Redução de Consumo	38
4.3	Considerações Finais	42
5	MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE (MGI)	43
5.1	Considerações Iniciais	43
5.2	<i>SmartCoM</i> e o Módulo de Gerenciamento Inteligente (MGI)	43
5.3	Metodologia	46
5.3.1	Escolha da Técnica de Inteligência Artificial	46
5.3.2	Implementação da Lógica <i>Fuzzy</i>	47
5.3.2.1	Índice de Calor – Entrada	47
5.3.2.2	Temperatura Operante – Entrada	49
5.3.2.3	Base de Regras	50
5.3.2.4	Temperatura Ideal – Saída	51
5.4	Considerações Finais	53
6	ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS	54
6.1	Considerações iniciais	54

6.2	Monitoramento do Condicionador de Ar	54
6.3	Coleta e Análise de Dados	55
6.4	Resultados	58
6.5	Considerações Finais	62
7	CONCLUSÕES	63
7.1	Contribuições da Dissertação	63
7.2	Trabalhos futuros	65
7.3	Dificuldades Encontradas	65
	REFERÊNCIAS	67

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Apresenta um resumo com o histórico, por equipamento, das regulamentações específicas.	15
Figura 2 – Comparação entre os modelos Tarifa Branca e convencional.	16
Figura 3 – Uso final da energia elétrica pelo setor residencial.	17
Figura 4 – Uso final da energia elétrica pelo setor comercial	18
Figura 5 – Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo <i>Split</i>	18
Figura 6 – Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Janela.	18
Figura 7 – Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.	22
Quadro 1 – Resumo das principais variáveis usadas para gerar o índice de conforto térmico.	23
Figura 8 – Escala sétima de conforto térmico.	25
Figura 9 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.	26
Figura 10 – Categorias de conforto térmico.	27
Figura 11 – Critérios para diferentes ambientes.	28
Figura 12 – Comparativo entre os intervalos de conforto recomendados pela NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994).	29
Quadro 2 – paradigmas associados a inteligência artificial.	31
Figura 13 – Função de Pertinência Triangular.	34
Figura 14 – Função de Pertinência Trapezoidal.	34
Figura 15 – Estrutura básica de um sistema de controle <i>Fuzzy</i>	36
Figura 16 – Defuzzificação tipo Centro de Área.	36
Quadro 3 – Síntese dos trabalhos pesquisados.	41
Figura 17 – Arquitetura <i>SmartCoM</i> com o MGI.	44
Figura 18 – O MGI coletando dado por sensor.	46
Figura 19 – Classificação do Índice de Calor.	48
Figura 20 – Funções de pertinência do índice de calor.	49
Figura 21 – Funções de pertinência da temperatura operante.	50
Quadro 4 – Regras do sistema <i>Fuzzy</i>	51
Figura 22 – Funções de pertinência da temperatura ideal.	52
Figura 23 – Entradas e saída da lógica <i>Fuzzy</i>	53
Figura 24 – Processo do gerenciamento inteligente.	57
Figura 25 – Temperatura estimada usado MGI e convencional para o período noturno.	58
Figura 26 – Temperatura estimada usado MGI e convencional para o período diurno.	59
Quadro 5 – resultados do consumo diário.	59
Figura 27 – Temperatura estimada usado MGI e convencional noturno anual.	60
Figura 28 – Temperatura estimada usado MGI e convencional diurno anual.	60
Quadro 6 – Resultados do consumo anual.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do condicionador de ar e da área.	54
Tabela 2 – Consumo elétrico por temperatura.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento
AG	Algoritmo Genético
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética
CIR	<i>Comfort Index Regulator</i>
CLF	Controlador Lógico <i>Fuzzy</i>
CoA	<i>Center of Area</i>
ENCE	Etiquetagem Nacional de conservação de energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IA	Inteligência Artificial
IAE	<i>integral of the squared error</i>
IC	Índice de Calor
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISE	<i>integral of the absolute value of error</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITAE	<i>integral of time multiplied by the absolute value of error</i>
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio
MF	<i>Membership Fuctions</i>
MGI	Módulo de Gerenciamento Inteligente

MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PD	Pesquisa e Desenvolvimento
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Percentage of Dissatisfied</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PSO	<i>particle swarm optimization</i>
REST	<i>Representational Start Trasfer</i>
SmartCoM	<i>Smart Consumption Management Architecture</i>
TO	Temperatura Operante
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
VFD	<i>variable frequency drive</i>

RESUMO

O estímulo a integração da eficiência energética em equipamentos elétricos vem aumentando durante os últimos anos. Uma parcela desse crescimento é resultado dos incentivos e das implementações de normas que ajudam na fiscalização e na regulamentação de especificações mínimas para eficiência no consumo de energia elétrica pelos equipamentos. Além disso, com o desenvolvimento da tecnologia, novas formas de gerenciamento inteligente são propostas para ajudar a otimizar o consumo energético. Este estudo apresenta a especificação e o desenvolvimento do módulo inteligente, a ser integrado na arquitetura *Smart Consumption Management Architecture (SmartCoM)*, que envolve a coleta e análise de dados meteorológicos (temperatura e umidade) via interface de comunicação característico da arquitetura, a partir de soluções de Internet das Coisas (IoT), para o gerenciamento inteligente de um condicionador de ar com o objetivo de otimizar o consumo de energia, sem perder o conforto térmico dos usuários residentes. A metodologia proposta mostrou-se eficiente na redução do consumo de energia comparado ao modelo convencional. Foram realizados experimentos com o intuito de estimar o consumo de energia do condicionador de ar para o ano de 2017. Os experimentos consistiram em comparar os resultados do módulo de gerenciamento inteligente (MGI) com o modelo convencional, e assim, mostrar a eficiência do módulo proposto que conseguiu, de forma geral, uma redução média anual de 24,5% para o período noturno e 21,1 % para o diurno ficando dentro dos padrões de conforto térmico estabelecidas pelas normas nacionais e internacionais.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Fuzzy, SmartCoM, Smart Home.

ABSTRACT

The incentive to integrate energy efficiency in electrical equipment has increased during last years. A portion of this growth is a result of incentives and the implementation of standards that help in inspection and regulation of minimum specifications for efficiency in electric energy consumption by equipments. In addition, with development of technology, new means of intelligent management are proposed to help optimize energy consumption. This study presents the specification and development of an intelligent module, to be integrated in Smart Consumption Management Architecture (SmartCoM), which involves collection and analysis of meteorological data (temperature and humidity) via the communication interface characteristic of the architecture, from Internet of Things (IoT), for the intelligent management of an air conditioner in order to optimize energy consumption, without losing thermal comfort of resident users. The proposed methodology proved to be efficient in reducing energy consumption compared to the conventional model. Experiments were carried out to estimate the energy consumption of an air conditioner during 2017. The experiments consisted in comparing results of the intelligent management module (MGI) with the conventional model, to show the efficiency of the proposed module, which achieved a general reduction of 24.5% for the night period and 21.1% for the daytime, within the standards of thermal comfort established by national and international standards.

Keywords: Internet of Things, Fuzzy, SmartCoM, Smart Home.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e Caracterização do Problema

O consumo excessivo de energia vem transformando o modelo de geração e distribuição de energia no país desde a década de oitenta, quando inicia-se a criação de normas e leis voltadas para preservação e conservação de energia, com o intuito de promover campanhas voltadas para a criação de equipamentos mais eficientes para otimizar o consumo energético (JANNUZZI, 2005), (NOGUEIRA, 2007). Com o intuito de promover o incentivo a mudanças de hábitos no consumo de energia, foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), administrado pela Eletrobrás. E em 1993 foi criado pelo PROCEL e instituído por decreto presidencial, o programa Selo Procel de Economia de Energia ou simplesmente Selo Procel, com o propósito de ser uma ferramenta eficaz, que ajuda o consumidor a conhecer, entre os eletrodomésticos, o mais eficientes e os que consomem menos energia, além de estimular a fabricação e comercialização destes produtos no país.

A partir de sua criação (Selo Procel), parecerias foram estabelecidas com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), associações de fabricantes e pesquisadores de universidades, com a finalidade de estimular a disponibilidade de equipamentos mais eficientes energeticamente no mercado brasileiro. Portanto, para medir o desempenho dos equipamentos, são estabelecidos índices de consumo para cada categoria. Cada equipamento candidato ao Selo Procel deve ser submetido a vários testes de laboratório indicados pela Eletrobrás, e apenas os que atingem o índice podem receber o Selo Procel (PROCEL, 2018).

O INMETRO junto a sociedade começaram uma discussão em relação a eficiência energética dos equipamentos, com a finalidade de contribuir para a racionalização de energia no país auxiliando na decisão de compra do consumidor a partir da criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), atuando principalmente na área de produtos consumidores de energia elétrica. Hoje uns dos principais programas voltados para a conservação energética do Brasil, coordenada pelo INMETRO, utiliza a Etiquetagem Nacional de conservação de energia (ENCE) informando a eficiência energética dos equipamentos comercializados no país (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Após a implantação do programa Selo Procel, duas leis foram criadas para promoção da eficiência energética no Brasil. A primeira refere-se à lei 9.991/2000, que obriga as concessionárias e Permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica a aplicação de 0,5% da receita operacional líquida em Pesquisa e Desenvolvimento – PD, tanto como para eficiência energética na oferta e no uso final (ANEEL, 2018). A segunda lei 10.295/2001, criada após as políticas de conservação serem implantadas. Também conhecida como lei de eficiência energética, sua finalidade é estimular o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de equipamentos mais eficientes no mercado nacional. Seu objetivo é determinar

níveis mínimos de eficiência energética em máquinas e aparelhos consumidores de energia tanto elétrico quanto derivados do petróleo ou outros insumos energéticos.

Com o propósito de pôr em prática a lei de eficiência energética, foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE) pelo decreto nº 4.059 que regulamenta a lei 9.991/2001. O CGIEE é composto pelo MME, Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio – MDIC, Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, Aneel, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, por um representante da universidade e um cidadão brasileiro (PROCEL, 2018), (MME, 2018). A Figura 1 a seguir representa as regulamentações históricas.

Figura 1 – Apresenta um resumo com o histórico, por equipamento, das regulamentações específicas.

Equipamento	Regulamentação Específica		Programa de Metas	
	Documento	Data	Documento	Data
Motores Elétricos Trifásicos	Decreto nº 4.508	11 de dezembro de 2002	Portaria Interministerial nº 553	08 de dezembro de 2005
Lâmpadas Fluorescentes Compactas	Portaria Interministerial nº 132	12 de junho de 2006	Portaria Interministerial nº 1.008	31 de dezembro de 2010
Refrigeradores e freezers	Portaria Interministerial nº 362	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial nº 326	26 de maio de 2011
Fogões e Fornos a Gás	Portaria Interministerial nº 363	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial nº 325	26 de maio de 2011
Condicionadores de Ar	Portaria Interministerial nº 364	24 de dezembro de 2007	Portaria Interministerial nº 323	26 de maio de 2011
Aquecedores de Água a Gás	Portaria Interministerial nº 298	10 de setembro de 2008	Portaria Interministerial nº 324	26 de maio de 2011
Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas a Vapor de Sódio e a Vapor Metálico	Portaria Interministerial nº 959	09 de dezembro de 2010	-	-
Lâmpadas Incandescentes	Portaria Interministerial nº 1.007	31 de dezembro de 2010	-	-
Transformadores de Distribuição em Líquido Isolante	Portaria Interministerial nº 104	22 de março de 2013	-	-

Fonte: PROCEL (2018)

Novas políticas de consumo de energia vem sendo implementadas com o intuito de racionalização e otimização, provocadas principalmente por causa do apagão que ocorreu entre os anos 2000 e 2002 (GRÜN, 2005). Em 2015 foi proposto e implementado o Sistema de Bandeiras Tarifárias com cores semelhantes às do semáforo seguindo a mesma ideia, e indicam se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, dependendo das condições de geração de eletricidade nas hidrelétricas (ANEEL, 2017a), (GONÇALVES; GUTIERREZ; SANTOS, 2017).

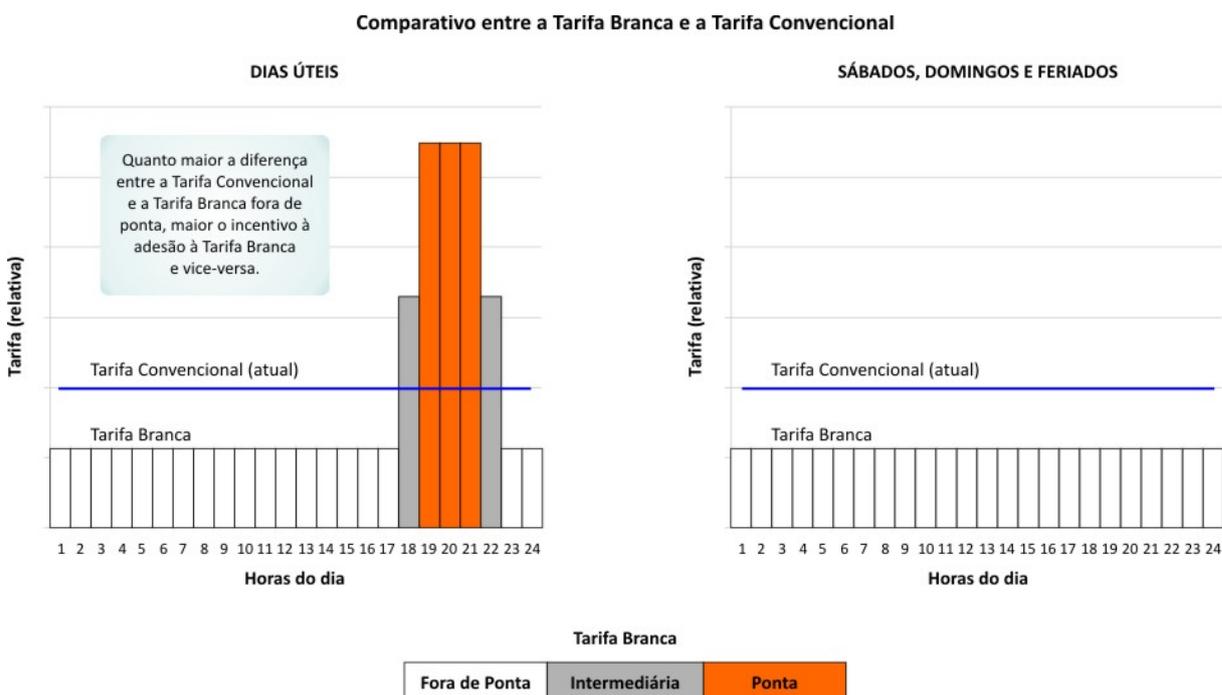
As seguintes características são apresentadas (ANEEL, 2017a):

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,010 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- **Bandeira vermelha - Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- **Bandeira vermelha - Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,050 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

A partir de janeiro de 2018, entra em vigor a programa Tarifa Branca que é uma nova opção de sinalizar a variação do preço do kWh conforme o dia e horário de consumo. Todas as distribuidoras deverão disponibilizar a Tarifa Branca para pedidos de adesão com consumo médio superior a 500 kWh mensal. Em 2019, deverão ser atendidas as unidades consumidoras com consumo médio superior a 250 kWh/mês e, em 2020 para consumidores de baixa tensão independente do consumo (ANEEL, 2017b).

Na tarifa convencional, o usuário paga o mesmo valor para o kWh durante o mês, porém na tarifa branca existe o período de ponta, onde o valor pago pelo kWh é mais caro por ter uma demanda de consumo maior nesse determinado horário. O período intermediário é mais barato que o período de ponta, no entanto, é mais caro que a fora de ponta que costuma ser o restante do dia. Sábado, domingo e feriado não entram na Tarifa Branca, a Figura 2 ilustra as tarifas citadas.

Figura 2 – Comparação entre os modelos Tarifa Branca e convencional.

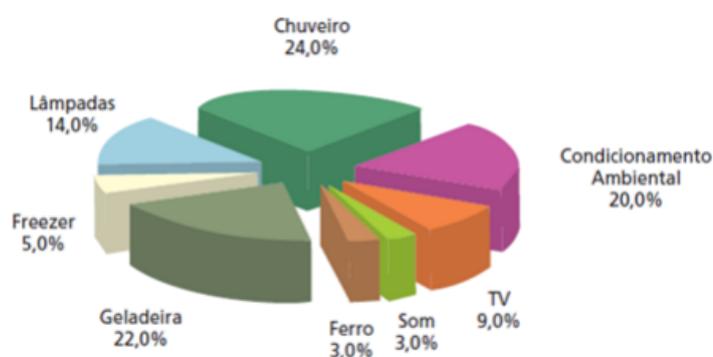


Fonte: ANEEL (2017b)

Para os condicionadores de ar, apenas em 2007 foi aprovada normas que tratam da eficiência energética. Essas normas estabelecem índices mínimo de eficiência energética para os equipamentos que fazem a refrigeração do ambiente. Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), o setor residencial terá um aumento de 5 a 9% na demanda por aparelhos de ar condicionado em 2018 (ABRAVA, 2018). Para este dispositivo, é cada vez maior a procura por um tipo que possua o menor consumo de energia, sem perder eficiência na refrigeração, para isso existe o Selo PROCEL, sendo um dos principais programas com o intuito de informar ao consumidor sobre a eficiência energética do equipamento inserido no mercado.

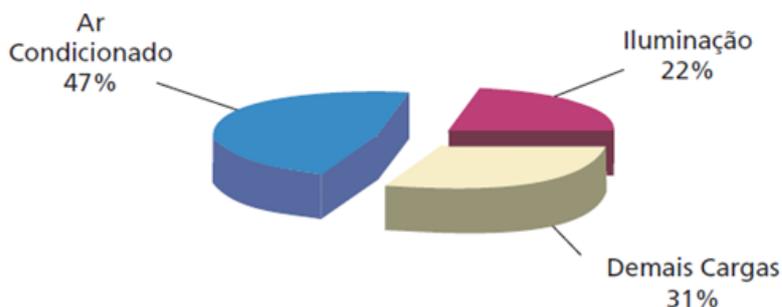
O Brasil é o nono país no ranking mundial de consumo de energia elétrica e o quinto maior comprador mundial de condicionadores de ar, que representam 20% do consumo total de energia residencial e 47% no setor comercial. E para lidar com a eficiência energética e minimizar os impactos do crescimento do consumo, vem sendo promovida políticas de conservação desde anos oitenta, e ao decorrer dos anos são criados outros programas que ajudam na eficiência energética, além de, normas que regulamentam as especificações mínimas para os condicionadores de ar. (PROCEL, 2018). Os índices mínimos são calculados como razão entre a capacidade total de refrigeração (em Watts) e a potência elétrica demandada (em Watts) (PEREIRA; LAMBERTS; GHISI, 2013). As Figuras 3 e 4 ilustram os consumos pelo uso final.

Figura 3 – Uso final da energia elétrica pelo setor residencial.



Fonte: PROCEL (2006)

Figura 4 – Uso final da energia elétrica pelo setor comercial .



Fonte: PROCEL (2006)

Em 2017, o programa Selo Procel e o ENCE publicaram novas regulamentações alterando as exigências para condicionadores de ar relacionados a elevação dos índices mínimo de eficiências de consumo (INMETRO, 2017). As Figuras 5 e 6 abaixo representam os novos índices de consumo para condicionadores de ar tipo Split e Janela.

Figura 5 – Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Split.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,23	<CEE	390	42,5%	336	92,3%
B	3,02	<CEE≤ 3,23	182	19,8%	22	6,0%
C	2,81	<CEE≤ 3,02	276	30,1%	6	1,6%
D	2,60	≤CEE≤ 2,81	70	7,6%	0	0,0%

Fonte: INMETRO (2017)

Figura 6 – Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Janela.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W) ⁽¹⁾												Total de modelos por classe
	Categoria 1			Categoria 2			Categoria 3			Categoria 4			
	≤9.495 kJ/h ≤9.000 BTU/h			9.496 a 14.769 9.001 a 13.999			14.770 a 21.099 14.000 a 19.999			≥ 21.100 ≥ 20.000			
A	≥ 2,93	38	64,4%	≥ 3,03	27	57,4%	≥ 2,88	10	76,9%	≥ 2,82	13	59,1%	88
B	≥ 2,84	17	28,8%	≥ 2,94	13	27,7%	≥ 2,71	2	15,4%	≥ 2,65	7	31,8%	39
C	≥ 2,76	1	1,7%	≥ 2,86	4	8,5%	≥ 2,59	0	0,0%	≥ 2,48	1	4,5%	6
D	≥ 2,68	3	5,1%	≥ 2,78	3	6,4%	≥ 2,45	1	7,7%	≥ 2,30	1	4,5%	8

Fonte: INMETRO (2017)

Segundo Pereira, Lamberts e Ghisi (2013), o nível mínimo do índice de eficiência energética brasileiro ainda é bastante inferior comparado a de outros países, competido apenas com a Índia e com a regulamentação de 2004 da China. O condicionador de ar mais eficiente no Brasil apresenta o coeficiente de eficiência energética de 4,79 W/W, porém as novas exigências

na China mostraram que existem equipamentos com índices superiores a 6,0 W/W, e no Japão ultrapassando com 6,5 W/W.

No seguimento energético nacional, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia no setor residencial vem crescendo continuamente durante os últimos anos (EPE, 2017). Entretanto, a geração e o fornecimento de energia não acompanham a taxa de crescimento, partindo para outros meios no intuito de suprir este gargalo. Exemplo disso, são os sistemas fotovoltaicos integrados a uma nova rede de distribuição denominada Smart Grid. Essa rede inteligente tem comunicação bidirecional que integra novas formas de geração de energia no lado do consumidor final, além de conectar dispositivos inteligentes a rede com objetivo de coletar informações afim de realizar tomadas de decisão (GREER et al., 2014).

Com base no cenário estabelecido de Smart Grid, a utilização de uma rede de sensores/atuadores interligados nessa rede de comunicação, combinando os mais diversos serviços de tecnologia de comunicação, por meio da internet, permitem o desenvolvimento de uma gama de soluções, baseadas no paradigma de Internet das Coisas (IoT), para monitoramento e gerenciamento dos dispositivos interligados. O IoT teve um crescimento no últimos anos e atualmente impulsionou o uso de dispositivos conectados à internet e acesso a conteúdo online, ajudando no gerenciamento em diversas áreas, por exemplo no subdomínio da *Smart Home* (MEANA-LLORIÁN et al., 2017). Especificamente, no ambiente residencial existe uma grande necessidade do gerenciamento mais inteligente direcionado para a eficiência no consumo de energia, conseqüentemente, na redução de custo (AL-ALI et al., 2017).

A eficiência energética está atrelada a diversos fatores e variáveis que são estudadas para obter modelos e melhorias em dispositivos que ajudem na otimização do consumo de energia. Em especial, quando se trata da otimização do consumo de energia de condicionadores de ar, a temperatura é uma das variáveis que afeta diretamente o consumo de energia, e quando associada a umidade relativa do ar, a sensação de desconforto térmico pode aumentar ainda mais (por exemplo, em épocas de calor), implicando no crescimento do uso de condicionadores de ar, que segundo Chaudhuri et al. (2017) representa 60% do consumo de energia em edifícios e residências.

A redução do consumo elétrico em condicionadores de ar está atrelada ao conforto térmico do ambiente, que as vezes dependem diretamente do projeto de edificação das residências. Desta forma, a residência precisa estar em conformidade com as normas de isolamento térmicos brasileiras para garantir o melhor conforto térmico do ambiente (LAMBERTS et al., 2011). Existe uma grande discussão a respeito da eficiência energética direcionada a este equipamento, porém muitos não consideram as variáveis climáticas externas (temperatura e umidade), ou seja, ignora a interferência que as variáveis têm em relação ao consumo de energia e/ou no comportamento da carga. Segundo Souza et al. (2013), em previsão de carga de curto prazo, a temperatura mostra grande influência no comportamento e também um relacionamento não linear entre as variáveis em diferentes faixas de temperatura.

Outros trabalhos como Kassas e Al-Tamimi (2018) desenvolve um modelo para otimizar o consumo de energia elétrica, porém não consideram o conforto térmico do usuário. É importante ressaltar que o desconforto térmico em ambientes de trabalho tem consequências diretas no desempenho e na produtividade do usuário, e também causa grandes danos à saúde dos ocupantes (câimbras, esgotamento, fadiga) (LAMBERTS et al., 2011).

Desta forma, fica evidente a importância da criação e implementações de modelos para a redução do consumo de energia em equipamentos que fazem a refrigeração do ambiente, baseados em variáveis climáticas, porém que mantenha o conforto térmico dos ocupantes. Este trabalho baseia-se na arquitetura Smart Consumption Management Architecture (*SmartCoM*) (OLIVEIRA et al., 2017), a qual toma como base as diretrizes estabelecidas em IEEE2030 (2011) para a interoperabilidade e aplicabilidade dos *Smart Grids* no contexto do *Smart Home* para tecnologias IoT. A arquitetura se caracteriza por ser flexível e incluir recursos tecnológicos chave, tais como: segurança de dados, modularidade, interoperabilidade, capacidade de gerenciamento remoto, o uso possível de heurísticas de inteligência computacional, flexibilidade e reutilização.

O objetivo deste estudo é a especificação e implementação de um Módulo de Gerenciamento Inteligente (MGI) que fará o gerenciamento e controle dos condicionadores de ar, baseados na relação das variáveis de temperatura externa, umidade relativa do ar externa e a temperatura operante, sendo utilizadas como variáveis de entrada para o sistema *Fuzzy*, que atuará no equipamento ajustando a temperatura do ambiente dentro de um padrão de conforto térmico.

1.2 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é especificar, implementar e integrar uma solução inteligente de gerenciamento de consumo de energia residencial (MGI) a partir do controle da sensação térmica, à arquitetura *SmartCoM*.

O MGI além de otimizar o consumo de energia dos condicionadores de ar, também mantém o mínimo de conforto térmico ao usuário estabelecidos pelas normas ISO 7730, NBR 6401 e pela ASHRAE, como também, em determinados momentos em que a temperatura for muito elevada, o MGI preza pela manutenção do conforto térmico do usuário residencial, pausando a otimização do consumo.

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

- Projetar, implementar o Módulo de Gerenciamento Inteligente (MGI), capaz de realizar a otimização do consumo de energia a partir de variáveis térmicas relacionadas ao ambiente;
- Integrar o MGI à arquitetura *SmartCoM*, considerando as normas de conforto térmico e as especificações da arquitetura;

- Projetar e implementar protótipo, com vistas a validar sua implantação em ambientes de *Smart Home*;
- Agregar diferentes funcionalidades de monitoramento e gerenciamento do consumo de energia que visem a informar aos usuários do sistema o consumo em tempo real e, a partir desses resultados, possa haver otimização de consumo;
- Propor uma solução totalmente modular para inclusão de técnicas de inteligência computacional para diagnosticar, classificar ou prever o consumo de energia residencial;
- Realizar um amplo levantamento do estado da arte das áreas contempladas nesta dissertação.

1.3 Organização da Dissertação

O presente documento está organizada da seguinte forma:

- Capítulo 2: Neste capítulo é realizada uma revisão a respeito dos principais conceitos acerca da eficiência energética e a criação de normas relacionado a conservação de energia, provendo as informações necessárias para a boa compreensão do estudo realizado;
- Capítulo 3: Neste capítulo são introduzidos e apresentados os conceitos fundamentais uma visão panorâmica da lógica *Fuzzy*. Provendo as informações necessárias para a boa compreensão do estudo realizado.
- Capítulo 4: O capítulo apresenta os trabalhos recentes e mais relevantes relacionados às soluções, modelos e técnicas usadas para otimização do consumo de energia em condicionadores de ar e, por conseguinte, correlacionados a esta proposta de dissertação, são apresentados;
- Capítulo 5: Este capítulo descrevem-se a metodologia proposta nesta dissertação. São apresentadas também as ferramentas matemáticas e cada uma das etapas da metodologia é descrita de forma detalhada;
- Capítulo 6: Neste capítulo é demonstrado o estudo de caso realizado. Na parte final deste capítulo, são feitas as análises dos resultados obtidos, bem como as principais considerações;
- Capítulo 7: Neste capítulo, são feitas as considerações finais sobre os temas abordados na proposta da dissertação, apontando as dificuldades encontradas e os possíveis desdobramentos em trabalhos futuros.

2 CONFORTO TÉRMICO

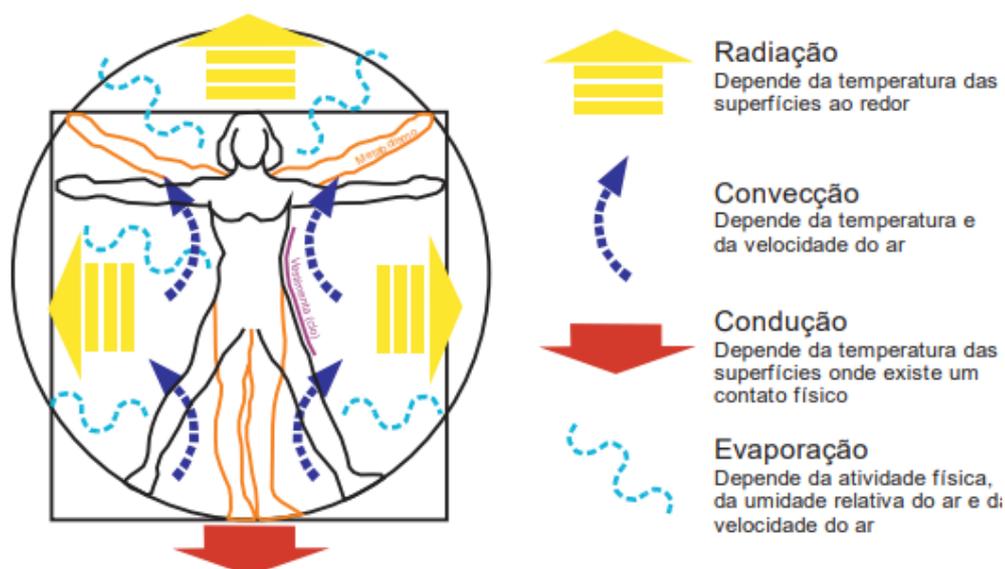
2.1 Considerações Iniciais

Nesse capítulo são apresentadas os conceitos, constatações e normas do panorama geral de conforto térmico e as principais variáveis que geram desconforto local. Além disso, serão discutidas questões como índices de satisfação para o alcance do conforto térmico.

2.2 Conceitos, Normas e Índices de Satisfação para o Conforto Térmico

O conforto térmico pode ser definido como a sensação ou condição mental de um indivíduo que demonstra satisfação com o ambiente térmico no qual está inserido (FANGER et al., 1970). Essa sensação está relacionada com o equilíbrio térmico do corpo humano, isto é, produz energia interna através do processo metabólico a partir da transformação dos alimentos. A energia produzida é consumida por manutenção e funções fisiológicas e o restante é liberado em forma de calor para manter o equilíbrio. A produção de calor é proporcional ao nível de esforço físico executado, e para manter a temperatura do corpo constante, o sistema orgânico termorregulador elimina o excesso de calor, e quanto maior for o grau de atuação maior será o desconforto térmico (RUAS et al., 1999). A Figura 7 apresenta o modelo esquemático do equilíbrio térmico humano.

Figura 7 – Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.



Fonte: Lamberts et al. (2011)

Portanto, os fatores que interferem no sistema termorregulador para manter o conforto

térmico são chamadas de variáveis pessoais e ambientais: As variáveis pessoais são a taxa do metabolismo e o isolamento térmico da vestimenta.

As variáveis ambientais podem ser definidas como globais e locais. As variáveis globais são as temperaturas radiantes média, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar, enquanto que as variáveis locais são responsáveis pelo desconforto local do ambiente, sendo identificadas como corrente de ar, diferença vertical de temperatura do ar, janelas ou superfícies frias ou quentes (FELIX et al., 2012), (LAMBERTS et al., 2011). O Quadro 1 explica resumidamente as principais variáveis responsáveis por gerar desconforto em ambientes *indoor*.

Quadro 1 – Resumo das principais variáveis usadas para gerar o índice de conforto térmico.

Variáveis	Descrição
Taxa de metabolismo	É a quantidade mínima de energia necessária para manter as funções vitais do organismo, e pode variar de acordo com o sexo, peso, altura, idade, nível de atividade física e a temperatura do ambiente (WAHRLICH; ANJOS, 2001).
Isolamento térmico da roupa	É a resistência térmica das roupas, que cria uma resistências a troca de calor por convecção (FELIX et al., 2012).
Temperatura radiante média	É definida como temperatura média à superfície dos elementos que envolvem um espaço e influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução (HEATING; ENGINEERS, 2010).
Umidade relativa do ar	Corresponde à proporção de água que o ar contém na presença da temperatura e pressão, e o volume máximo de umidade que poderia conter (HEATING; ENGINEERS, 2010).
Temperatura do ar	Já a temperatura do ar é a variável que afeta a perda de calor que parte do corpo por convecção e por evaporação. Essa grandeza é uma das principais variáveis que afeta diretamente o conforto térmico sofrendo alterações intensificando o desconforto por influências ou de outras variáveis (HEATING; ENGINEERS, 2010).
Velocidade relativa do ar	Velocidade relativa do ar é a velocidade média do ar ao qual o corpo está exposto em relação ao tempo e espaço. Essa variável não reduz a temperatura, porém melhora a sensação térmica e ajuda no arrefecimento devido à perda de calor por convecção e pelo aumento da evaporação. Em ambientes <i>indoor</i> , a velocidade do ar é geralmente inferior a 0,2 m/s (HEATING; ENGINEERS, 2010).
Corrente de ar	É devido a circulação do ar dando a sensação de corrente de ar que depende da velocidade do ar dentro do ambiente (FELIX et al., 2012).

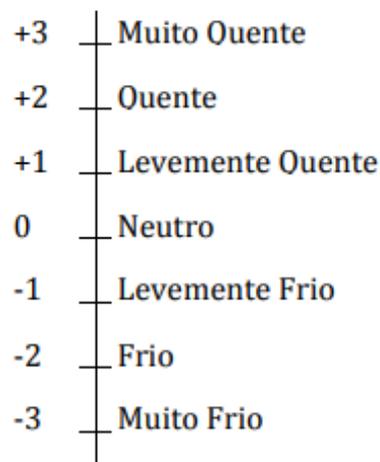
Variáveis	Descrição
Diferença vertical de temperatura do ar	É a diferença vertical de temperatura do ar, que geralmente, é de no máximo 3 °C entre os pés e a cabeça, segundo as normas técnicas. Essa diferença é encontrada dada que a temperatura do ar em ambientes, aumento do piso para o tecto (FELIX et al., 2012).
Temperatura de superfícies	Os usuários podem sentir desconforto localizados (pés e mãos), resultados das temperatura de superfícies que podem ser frios ou quentes dependo do objeto de contato (FELIX et al., 2012).

Diante da combinação dessas variáveis, surgiram dois modelos que são utilizados atualmente e que levam conforto térmico ao usuário. O primeiro modelo proposto por (ASHRAE, 1989), baseia-se em experiências vivenciadas pelos usuários em ambiente que manipula as condições de conforto e sensações térmicas. O outro modelo sugerido por (FANGER et al., 1970), calcula a previsão do conforto término usando as variáveis citadas no Quadro 1.

A ASHRAE iniciou uma série de estudo em diferentes localidades, aplicando o método de investigação direta com o intuito de avaliar o conforto térmico do usuário em ambientes diferentes. O objetivo inicial era desenvolver métodos para avaliar e determinar padrões de conforto térmico. O principal estudo foi realizado com 1600 estudantes, o que revelou correlações entre os níveis de conforto, temperatura, umidade, sexo e o tempo de exposição no ambiente. Ao longo de muitos anos realizando estudos de campo, um comportamento relacionado ao conforto foi encontrado determinado escalas de sensação de conforto térmico (BRAGER et al., 1993), (HUMPHREYS; HANCOCK, 2007).

Segundo ASHRAE (2004), o conforto ideal para climas quentes com atividade sedentário¹ é de 25 °C com variações entre 23 e 27 °C, com velocidade relativa do ar de 0,5 m/s, sendo que a umidade relativa do ar deve permanecer entre 40 e 60% e vestimenta de meia estação com temperatura radiante média igual a temperatura do ar. A Figura 8 representa a escala sétima da ASHRAE para conforto térmico.

¹ É definido como a falta, ausência ou diminuição de atividades físicas ou esportivas, está associada ao comportamento cotidiano decorrente dos confortos da vida moderna (OLIVEIRA et al., 2010)

Figura 8 – Escala sétima de conforto térmico.

Fonte: Lamberts et al. (2011)

O especialista em conforto térmico Povl Fanger, foi um dos pioneiros ao desenvolver modelos analíticos para determinar qual o melhor conforto térmico para o usuário em estado estacionário. Ficou bastante conhecido por desenvolver o cálculo *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Percentage of Dissatisfied* (PPD), que serviram de base para a elaborações de Normas internacionais e nacionais importantes, por exemplo, a ISO 7730 (1994) e NBR 6401 (1980).

O índice PMV ou voto médio previsto faz a predição do conforto térmico, através de análises estatísticas de acordo com resultados obtidos de estudos em câmaras, realizados na Dinamarca, onde as pessoas registravam seus votos de acordo com a escala sétima da ASHRAE, que seleciona desde muito frio até muito quente (-3 a +3). A sensação de conforto real sentida é representada pela Equação 1 do PMV (LAMBERTS et al., 2011).

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028).L \quad (1)$$

onde:

PMV = voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico.

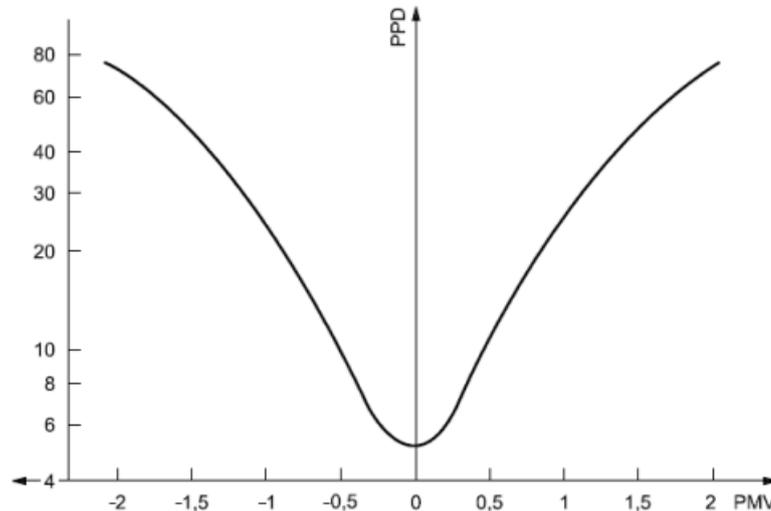
M = Atividade desempenhada pelo indivíduo.

L = Carga Térmica atuante sobre o corpo.

O PDD usa a neutralidade térmica para definir o nível de satisfação do ocupante, no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, seja trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo perda ou acúmulo, mantendo a temperatura corporal constante. A condição de neutralidade térmica (PMV = 0) corresponde a 5% de insatisfeitos e a curva é simétrica em relação ao ponto PMV = 0, ou seja, a equivalência de calor e frio

corresponde a igual porcentagem de insatisfeitos. A Figura 9 ilustra o nível de insatisfação em relação ao conforto térmico (LAMBERTS et al., 2011).

Figura 9 – Porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.



Fonte: Lamberts et al. (2011)

Conforme mencionado anteriormente, existem duas normas responsáveis por estabelecer parâmetros e especificações que determinam o conforto térmico em ambientes climatizados sendo:

ISO 7730:

A norma internacional ISO 7730 foi criada em 1984 baseada no PMV/PPD desenvolvida por Fanger et al. (1970). Titulada com ambientes termicamente moderados, vem sofrendo revisão a cada dez anos, acrescentando os últimos avanços das técnicas, trabalhos desenvolvidos e novidades sobre o conforto térmico. Essa norma é indicada para avaliação de ambientes térmicos moderados, ou melhor, a relação ocasionada pelas variáveis ambientais e pessoais que são usadas para garantir o conforto térmico resultando um PMV entre os intervalos -2 a +2 de insatisfação (RUAS et al., 1999). O ambiente térmico desejado para um espaço pode ser selecionado entre 3 categorias. As categorias representam diferentes escalas de conforto térmico para o mesmo ambiente, por exemplo, a categoria A mostra porcentagem de insatisfação e o intervalo do PVM menor que a outras categorias, porém a temperatura do piso pode ser a mesma tanto para a categoria A quanto para B mostrada na Figura 10 (ISO7730, 2005).

Figura 10 – Categorias de conforto térmico.

Categoria	Estado térmico do corpo		Desconforto local			
	PPD %	PMV	DR%	PD %		
				Diferença de temperatura na vertical	Piso quente ou frio	Radiação assimétrica
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<30	<10	<15	<10

Fonte: ISO7730 (2005)

A norma internacional tem critérios diferentes para cada tipo de planejamento de edificação como, a temperatura de operação, velocidade média máxima do vento e os tipos de categorias com o objetivo de gerar a melhor satisfação possível para o usuário. Pode ser ressaltado que os índices de variação de cada variável são diferentes conforme a estação inverno ou verão (ISO7730, 2005).

A Figura 11 apresenta os critérios para identificar diferentes tipos de ambientes e espaços considerando a umidade entre 40 e 60

Figura 11 – Critérios para diferentes ambientes.

Tipo construção/espço	Atividade W/m ²	Categoria	Temperatura Operativa °C		Máxima velocidade média ¹ m/s	
			Verão	inverno	Verão	inverno
Escritório particular Sala de conferência Auditório Restaurante Salas de aula	70	A	24,5 ±1,0	22,0 ±1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ±1,5	22,0±2,0	0,19	0,16
		C	24,5±2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 ²
Jardim da infância	81	A	23,5±1,0	20,0±1,0	0,11	0,10 ²
		B	23,5±2,0	22,0 ±2,5	0,18	0,15 ²
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ±3,5	0,23	0,19 ²
lojas	93	A	23,0 ±1,0	19,0 ±1,5	0,16	0,13 ²
		B	23,0 ±2,0	19,0 ±3,0	0,20	0,15 ²
		C	23,0 ±3,0	19,0 ±4,0	0,23	0,18 ²

¹ Máxima velocidade média é baseada na intensidade de turbulência de 40% e a temperatura operativa de acordo com a Figura A.2, umidade relativa de 60% e 40% para verão e inverno, respectivamente. Para ambos o verão ou inverno a baixa temperatura na escala é usada para determinar a máxima velocidade média.

² abaixo de 20°C.

Fonte: ISO7730 (2005)

NBR 6401:

A norma nacional ABNT NBR 6401 estabelece parâmetros básicos fundamentais para projetos de instalação de condicionadores de ar com objetivo de melhorar o conforto térmico em ambientes, por exemplo, salas de escritório, salas residências. A norma trata da satisfação de 80% das pessoas em relação ao conforto térmico em áreas climatizadas baseada no conceito da ASHRAE. A norma NBR 6401 considera diversos tipos de variáveis que influenciam na satisfação, por exemplo, o tamanho do espaço para o determinado tipo de nicho, número de pessoas para o tamanho do espaço, temperatura do ar, umidade relativa do ar, condição externa por região e estação, nível de ruído tipo e outros (NBR6401, 1980).

Na NBR 6401 também está especificado os intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa do ar para o conforto térmico de pessoas em atividades sedentárias. Estes intervalos recomendados não estão em desacordos com a ISO7730 (1994), como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Comparativo entre os intervalos de conforto recomendados pela NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994).

	NBR 6401(1980)		ISO 7730 (1994)	
	⁽¹⁾ t_{bs} (°C)	⁽²⁾ UR (%)	⁽³⁾ t_o (°C)	⁽²⁾ UR (%)
Verão	23 a 25	40 a 60	23 a 26	30 a 70
Inverno	20 a 22	35 a 65	20 a 24	30 a 70

Fonte: ISO7730 (2005)

Onde:

t_{bs} = temperatura de bulbo seco.

UR = umidade relativa.

t_o = temperatura operante.

2.3 Considerações Finais

Por meio dos dados apresentados é possível observar que os ambientes residenciais, comerciais juntos apresentam uma fatia considerável no consumo de energia elétrica do país. A refrigeração artificial desses ambientes consome uma parte significativa da energia elétrica final. Aliando esse fato ao desenvolvimento de novas técnicas ou modelos que ajudem a melhorar a autonomia dos condensadores de ar, pode-se garantir impactos bastante relevantes na redução consumo de energia, e conseqüentemente para o sistema elétrico brasileiro.

No próximo capítulo será apresentado um estudo de inteligência artificial e lógica *Fuzzy*, para efeito introdutório na proposta desta dissertação.

3 LÓGICA *FUZZY*

3.1 Considerações iniciais

Este capítulo descreve primeiramente um panorama geral dos paradigmas de inteligência artificial (IA) e, posteriormente, e realizada uma breve introdução da técnica empregada neste trabalho, a Lógica *Fuzzy*.

3.2 Inteligência Computacional

A busca por sistemas artificiais que apresentam algum tipo de comportamento inteligente, similar ao exibido por muitos sistemas biológicos (incluindo seres humanos) sempre fascinou muitos cientistas. Os sistemas biológicos são resultado de um longo processo de evolução natural e apresentam características como adaptabilidade, tolerância a falhas e robustez a variações ambientais. Tais características são bastante desejáveis em uma grande variedade de problemas das mais diversas áreas de conhecimento, levando diversos pesquisadores a propor estratégias que procuram emular alguns dos aspectos observados em sistemas biológicos naturais. Neste contexto e com o intuito de desvendar os mistérios relacionados a inteligência, surgiu na década de 50 a inteligência artificial - IA (RUSSELL; NORVIG, 2016).

A IA compreende paradigmas computacionais que procuram desenvolver sistemas que apresentam alguma forma de inteligência similar a exibida por determinados sistemas biológicos. Alguns dos paradigmas que compõem a IA foram de fato inspirados em sistemas biológicos (como as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos), enquanto que outros, apesar de não terem inspiração biológica, tentam gerar sistemas que produzam algum tipo de comportamento próximo ao observado em sistemas naturais (como por exemplo, o raciocínio aproximado dos sistemas nebulosos). A forma como o conhecimento serviu de inspiração para a modelagem computacional da inteligência deu origem aos paradigmas que compõem a IA, onde podem-se destacar como os principais (RÊGO et al., 2016). O Quadro 2 apresenta os paradigmas atuais.

Quadro 2 – paradigmas associados a inteligência artificial.

Paradigmas	Descrição
Simbólico	Consiste de um conjunto de símbolos que formam estruturas e um conjunto de regras e processos. Quando o conjunto de regras e processos é aplicado no conjunto de símbolos o sistema produz novas estruturas. Apresenta um conhecimento explícito de um determinado problema e que também possui uma explicação do processo que levou a resposta dada pelo sistema de IA.
Conexionista	Tem como premissa a suposição de que o comportamento inteligente esta relacionado com a dinâmica das conexões entre pequenos nós denominados neurônios, onde tal dinâmica e capaz de representar o conhecimento. Diferentemente do paradigma simbólico, no modelo conexionista o estado dos neurônios representam um conceito ou um objeto e a dinâmica que leva a representação do conceito ou objeto e que estabelece as regras sobre tais objetos e conceitos.
Evolutivo	Este paradigma, diferentemente do convencional, não exige, para resolver um problema, o conhecimento prévio de uma maneira de encontrar uma solução. Este paradigma e baseado em mecanismos evolutivos encontrados na natureza, tais como a auto-organização e o comportamento adaptativo sugerido por Darwin em sua teoria da evolução.
Híbrido	É todo o sistema que integre dois ou mais métodos diferentes para a solução de um problema. A integração de duas técnicas complementares permite que uma complete as deficiências da outra de forma a obter um melhor desempenho. O processamento em paralelo de informações pelas diferentes técnicas irão usualmente permitir que tenha-se um sistemas com maior performance, mais robustos, e com uma maior tolerância a falhas.
Nebuloso	A teoria dos conjuntos nebulosos e o modelo mais tradicional para o tratamento da informação imprecisa e vaga. Este paradigma tem por objetivo permitir graduações na pertinência de um elemento a uma dada classe, ou seja, de possibilitar a um elemento de pertencer com maior ou menor intensidade aquela classe. Basicamente, isso se faz quando o grau de pertinência de um elemento ao conjunto, que na teoria dos conjuntos “clássica” assume apenas os valores 0 ou 1, passa a ser dado por um valor no intervalo dos números reais [0, 1].

Nesta dissertação, não se pretende discutir e nem investigar os paradigmas de IA. Para aprofundamento no assunto, sugere-se consultar (RUSSELL; NORVIG, 2016), (CARVALHO et al., 2011). Para fins do contexto desta dissertação, será discutida com maiores detalhes a lógica *Fuzzy*.

3.3 Lógica Fuzzy

Os sistemas inteligentes, Lógica Fuzzy, Algoritmos Genéticos, os Sistemas Especialistas e Redes Neurais fazem parte de um novo paradigma conhecido por métodos inteligentes para o monitoramento e para a tomada de decisão. Na área residencial apresentam um excelente desempenho em determinadas condições: quando há a necessidade de uma rápida mudança; ou quando tratam de informações com graus de incertezas. (WU et al., 2017). A lógica Fuzzy pode detectar mudanças repentinas em variáveis heurísticas, tornando-se muito eficiente para aplicações de alerta e tomada de decisão. Também chamada lógica nebulosa ou difusa, é uma teoria que incorpora a experiência, a intuição, o conhecimento especializado e a natureza imprecisa do processo de decisão humana por meio de um conjunto de regras simples ou heurísticas (CHEN et al., 2018).

A lógica Fuzzy é a forma de lógica multivalorada que os valores lógicos das variáveis podem ser qualquer número real entre 0 e 1, correspondente ao valor falso e verdadeiro respectivamente. Diferentemente, na lógica booleana, os valores lógicos das variáveis podem ser apenas 0 e 1. A lógica Fuzzy foi criada para lidar com o informações imprecisas ou vagas onde o valor de uma variável pode ser verdadeiro e falso com grau de porcentagem. Além disso, quando variáveis linguísticas são usadas, esses graus podem ser manipulados por funções específicas (CHEN et al., 2018).

O sistema de controle Fuzzy é rápido, responsivo, robusto e capaz de acompanhar variações contínuas nas entradas do sistema. Pré-conhecimento do sistema não é necessário e a matemática envolvida é relativamente simples. Os controladores de lógica Fuzzy são adequados para sistemas residenciais, levando em conta que eles são caracterizados por alta não-linearidade, flutuações na entrada e variação do ambiente analisado (LETTING; MUNDA; HAMAM, 2011). Por necessitar de um baixo poder de processamento e de pouca memória, a lógica Fuzzy é o método inteligente utilizado para o desenvolvimento do Módulo de Gerenciamento Inteligente que será integrado a arquitetura *SmartCoM*.

A lógica Fuzzy que foi introduzida primeiramente por Zadeh (1965), caracterizando-se por ser uma teoria que se utiliza de equações matemáticas para explicar o raciocínio humano. As fórmulas de computação em lógica Fuzzy, via de regra, não são complexas. O 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. Isso permite a aproximação do mundo real, e então, possibilita trabalhar tais incertezas de forma sistemática (CHEN et al., 2018), (LEE,

1990). As principais operações de conjuntos são definidas nas Equações 2, 3 e 4:

$$\text{União de A e B: } \mu_{(A \cup B)}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in U \quad (2)$$

$$\text{Interseção de A e B: } \mu_{(A \cap B)}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in U \quad (3)$$

$$\text{Complemento: } \mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U \quad (4)$$

3.3.1 Função de Pertinência

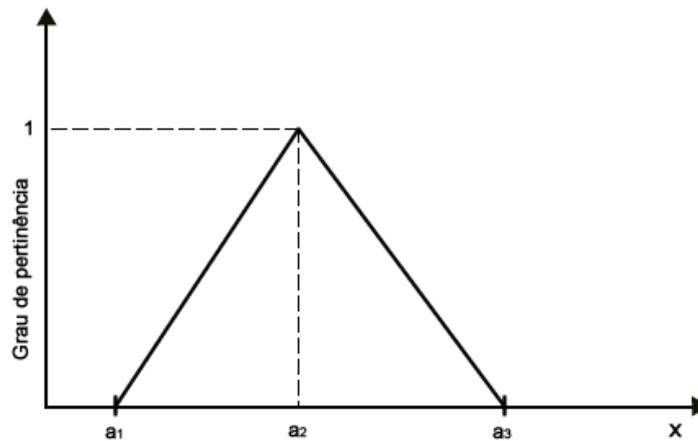
As variáveis de entrada e saída *Fuzzy* são representadas por Funções de Pertinência (FP ou MF, do inglês *Membership Functions*). A função de pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valor de pertinência *Fuzzy* para valores reais de uma variável. As funções relacionam cada entrada e saída com uma variável ponderada, dependendo da forma da curva (SETS; ZADEH, 1965). As FPs são geralmente escolhidas pelo projetista do controlador (CHEN et al., 2018). As funções de associação mais populares são:

- Triangular;
- Trapezoidal;
- Gaussiana;
- Bell;
- Função de pertinência em formato de “Pi”;
- 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. Uma FP triangular é representada mediante a três parâmetros a_1, a_2, a_3 da seguinte maneira na Equação 5 e sua curva é apresentada na Figura 13 (VIRANT, 2000), (LILLY, 2011).

$$\text{Triang}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & a_3 \leq x \end{cases} \quad (5)$$

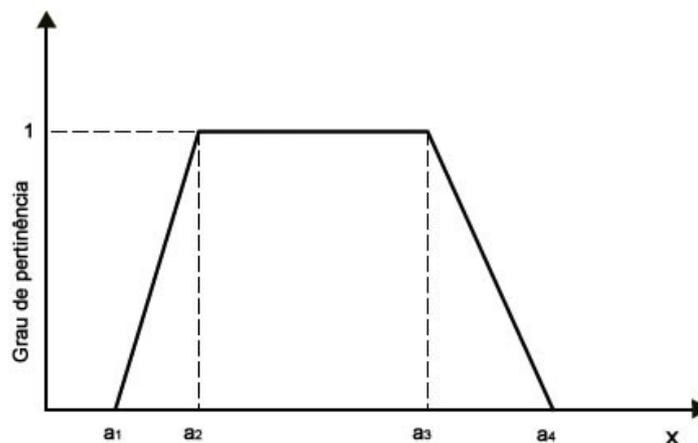
Figura 13 – Função de Pertinência Triangular.



As funções de pertinência trapezoidais são especificadas mediante a quatro parâmetros “a1”, “a2”, “a3” e “a4”, em que “a” e “d” determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, enquanto “b” e “c” determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1 ilustrada na Equação 6 e sua curva e apresentada na Figura 14 (VIRANT, 2000), (LILLY, 2011).

$$Trapez(x; a1, a2, a3, a4) = \begin{cases} 0, & x < a1 \\ \frac{x-a1}{a2-a1} & a1 \leq x \leq a2 \\ 1se & a2 \leq x \leq a3 \\ \frac{a4-x}{a4-a3} & a3 \leq x \leq a4 \\ 0, & a4 \leq x \end{cases} \quad (6)$$

Figura 14 – Função de Pertinência Trapezoidal.



3.3.2 Regras Fuzzy

A base de regras *Fuzzy* pode ser considerada um módulo do núcleo do controlador *Fuzzy*. As regras são modelada matematicamente a partir da relação das entradas de acordo com as informações de um especialista. É neste ponto que as entradas e suas classificações linguísticas são catalogadas e convertidas para linguagem *Fuzzy*, ou ainda, funções de pertinências.

As regras *Fuzzy* basicamente estão compreendidas em dois “estilos”, conforme a seguir (LILLY, 2011):

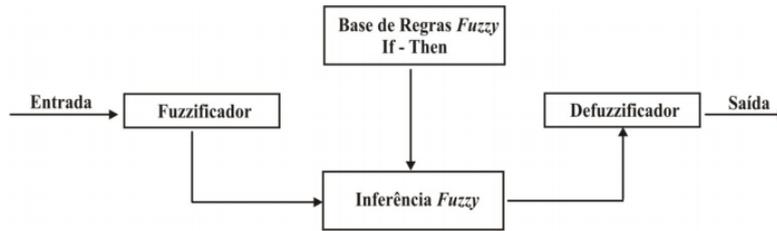
Estilo Mamdani: O tipo Mamdani se caracteriza pelo conjunto de funções de pertinência *Fuzzy* mais utilizado. Foi introduzido por E.H. Mamdani (MAMDANI, 1974), (MAMDANI, 1976). Utilizam-se métodos simples na concepção da função de associação e regras difusas, e é especialmente compatível com sistemas caracterizados por entrar e saídas simples (CHATURVEDI, 2009), (PERES et al., 2018). O método Mamdani é baseado em grande parte em intuições e conhecimentos humanos, funcionando bem com sistemas imprevisíveis e de grandes incertezas.

Estilo Sugeno: Sugeno *Fuzzy* foi proposto pela primeira vez por Takagi e Sugeno em 1985 (TAKAGI; SUGENO, 1985). Na lógica *Fuzzy* de Sugeno, as soluções únicas são usadas para dar certos valores à saída de controle (CAO; REES; FENG, 1997), (TANAKA; WANG, 2004). O método é eficaz no controle de sistemas complexos não-lineares (JOTSOV; SGUREV, 2008). Uma vantagem deste método é a redução do número de regras em comparação com o método Mamdani, o que o torna adequado para sistemas de alta ordem. Métodos para análise de estabilidade podem ser desenvolvidos usando algoritmos Sugeno (SUGENO, 1999).

3.3.3 Estrutura do Controlador Fuzzy

O controle *Fuzzy* é baseado na incorporação de algoritmos de lógica *Fuzzy* em sistemas de controle como controladores dependentes ou com outros tipos de controladores. Um controlador *Fuzzy* é composto dos seguintes blocos: (a) a base de conhecimento, que consiste na base de regras difusa e as definições linguísticas para as variáveis de entrada e saída; (b) o mecanismo de inferência, que aplica as regras difusas para calcular a ativação de cada variável; (c) o bloco de fuzzificação que converte a variável de entrada (medidas *crisp* ou exatas) em uma variável *Fuzzy* (CHEN et al., 2018). O bloco defuzzificação converte a saída do controlador de lógica *Fuzzy* em uma variável *crisp*. Na Figura 15, todos os componentes presentes na estrutura básica de um controlador *Fuzzy* é representado por diagramas de blocos.

Figura 15 – Estrutura básica de um sistema de controle *Fuzzy*.

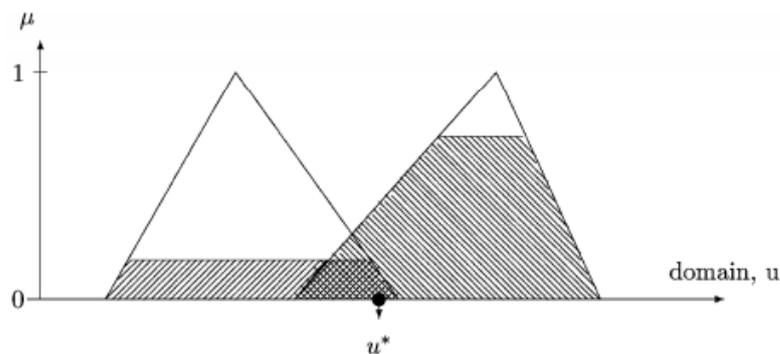


Fonte: (CHERRI; JUNIOR; SILVA, 2011).

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 (LEE, 1990), (PATEL; MOHAN, 2002). A Figura 16 e a Equação 7, apresenta o Centro de Área.

$$u^* = \frac{\int_u u \mu_U(u) du}{\int_u \mu_U(u) du} = \frac{\int_u u \text{MAX}_i \mu_{CLU_i}(u) du}{\int_u \text{MAX}_i \mu_{CLU_i}(u) du} \quad (7)$$

Figura 16 – Defuzzificação tipo Centro de Área.



Fonte: (PATEL; MOHAN, 2002).

Figura 16 ilustra a Defuzzificação tipo Centro de Área (PATEL; MOHAN, 2002). Outro método popular para a defuzzificação é o método da média ponderada; é simples de implementar, mas só pode ser usado com funções de pertinência simétricas. Outros métodos são o método *Bisector*, o *Maior do Máximo*, o *Menor do Máximo* e o *Método da Média do Máximo* (NAAZ; ALAM; BISWAS, 2011).

3.4 Considerações Finais

Este capítulo apresentou inicialmente um apanhado geral sobre as técnicas de inteligência computacional referenciadas na literatura especializada. Com esse objetivo foi apresentado uma visão geral da teoria de Lógica *Fuzzy*, sua modelagem e aplicabilidade.

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

4 TRABALHOS CORRELATOS

4.1 Considerações Iniciais

O conforto e a redução do consumo de energia residencial são uns dos principais assuntos discutidos no âmbito de *Smart Home* e *Smart Grid*. 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 (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2013).

Atualmente existem diversas propostas para o desenvolvimento e análises do gerenciamento inteligente de equipamentos que promovam o conforto térmico ao usuário em ambiente *indoor*, assim como a redução do consumo de energia. Neste capítulo serão abordados trabalhos com propósito de discutir os desafios encontrados na área envolvida nesta proposta de trabalho.

4.2 Conforto Térmico e Redução de Consumo

Com o intuito de discutir e motivar novas pesquisas, apresentam-se alguns trabalhos que demonstram o uso de lógica *Fuzzy* para o gerenciamento inteligente em ambientes residenciais. Em Meana-Llorián et al. (2017) os autores propõem uma nova abordagem para controle automática da temperatura usando conceitos da Internet das Coisas (IoT), associado a lógica *Fuzzy*. A arquitetura é dividida em três camadas: coleta de dados, processamento de dados e atuação. Na primeira camada o sistema recebe dados de temperatura interna, temperatura externa e umidade externa por meio de sensores ou/e acesso a plataforma de IoT. Na camada seguinte esses dados são processados usando a lógica *Fuzzy*. Por fim, a camada de atuação onde o controle da temperatura é simulado, a partir da combinação de cinco LEDs que representam os estados do ambiente a fim de definir um local mais confortável para o usuário e um menor consumo de energia. Outros modelos usando lógica *Fuzzy* são propostos com o intuito de otimizar o consumo e o conforto.

No trabalho de Kassas e Al-Tamimi (2018), o *Fuzzy* é usado como uma das estratégia de análise de consumo em equipamentos de refrigeração. O objetivo é analisar e comparar o consumo de energia do sistema de ar condicionado usando dois modelos. O primeiro analisado é o sistema convencional que foi simulado e mensurado com o pior desempenho. O segundo denominado de *variable frequency drive* (VFD) foi modelado por duas estratégia, *Proportional Integral Derivative* (PID) e *Fuzzy Logic Controllers* (FLC), e ambos foram mensurados e simulados. O controlador PID apresentou uma menor eficiência comparado ao FLC, porém um melhor desempenho que o tradicional. Para o controlador FLC foram usados duas entradas e uma saída respectivamente: o erro entre as temperaturas interna e externa, taxa de variação do erro; velocidade da variação do compressor. O FLC apresentou o melhor resultado com o menor consumo de energia entre os sistemas estudados.

A lógica *Fuzzy* permite a associação de diferentes tipos de variáveis com maior facilidade. Desta forma, o trabalho de Javaid et al. (2017) usa a lógica *Fuzzy* para associar as variáveis de temperatura externa, presença do usuário, preço da energia e o ponto de ajuste da temperatura interna. O objetivo é criar um termostato adaptável global para o gerenciamento do consumo de energia em regiões frias e quentes. O modelo é validado por simulação e dividido em duas partes: primeiro é feita a análise para a região fria onde é escolhido um país com temperaturas ideais para o problema, e o outro foi realizado apenas para região quente seguindo a mesma ideia usada para a primeira análise. Além das simulações realizadas com a lógica *Fuzzy*, também são feitas para *setpoints* fixos e abordagens programáveis com objetivo de comparar os resultados. Os resultados mostram que o consumo de energia é reduzido com maior eficiência usando a lógica *Fuzzy* ao invés de usar modelos convencionais.

O trabalho desenvolvido por Yan, Niu e Deng (2017), implementa um controlador baseado em conforto térmico com ventilação customizada ao redor dos ocupantes usando *Predicted Mean Vote* (PMV) e lógica *Fuzzy*. A técnica *Comfort Index Regulator* (CIR) consiste em usar a ventilação customizada para calcular o PMV a partir das temperaturas do bulbo seco e úmido indoor. Essas temperaturas são as entradas para a lógica *Fuzzy* na etapa seguinte, e como resultado de saída do sistema *Fuzzy*, as cargas sensível e latente são convertidas e usadas para controle da ventilação do compressor do DX A/C. A validação do controlador ocorreu em três testes, sem ventilação, com ventilação baixa, com ventilação alta. O controlador obteve uma maior eficiência quando a ventilação alta foi selecionada por ter uma maior variação na carga (mínimo e máximo) do compressor, porém, quando foi realizado o teste sem ventilação, o compressor teve um funcionamento constante e próximo da carga máxima resultando em maior consumo de energia.

Da mesma forma, Ciabattoni et al. (2015) desenvolve um sistema baseado em lógica *Fuzzy* com objetivo de determinar o controle da velocidade do ventilador do condicionado de ar. A metodologia abordada considera o valor do índice *Predicted Mean Vote* (PMV), a variação do índice PMV e a temperatura externa como entradas no sistema *Fuzzy*. Para a associação das variáveis de entrada, são criadas 120 regras que resultam em apenas uma saída que servirá como controle do ventilador do condicionado de ar. O valor de controle para a bobina do ventilador é em porcentagem (0 a 100) com relação à velocidade máxima, e caso o valor da saída do *Fuzzy* ficar abaixo de 18% o ventilador é desligado. Para validar a proposta, o autor compara com um regulador PID mostrando que o controle baseado em lógica *Fuzzy* tem um desempenho melhor em termos de índices *integral of the squared error* (IAE), *integral of the absolute value of error* (ISE) e *integral of time multiplied by the absolute value of error* (ITAE).

A lógica *Fuzzy* também é usada em diversos tipos de controladores residenciais aumentando a autonomia dos dispositivos. Em Patel e Champaneria (2016), a inteligência *Fuzzy* mostra um grau de precisão de 95,14% e é 6,98 ms mais rápido do que outras arquiteturas.

No trabalho Saha et al. (2014) o *Fuzzy* é empregado para o desenvolvimento de um

controlador inteligente focado em determinar a melhor temperatura em ambiente *indoor*. A proposta consiste em duas etapas: primeiro é associar as variáveis temperatura interna, luz externa e a umidade usando lógica *Fuzzy* para encontrar a temperatura confortável. A etapa seguinte é para encontrar a diferença entre a temperatura confortável e a temperatura do ambiente (erro) e a diferença entre a temperatura do ambiente agora e um minuto antes (diff), para usar como entrada no segundo *Fuzzy*. O resultado do segundo *Fuzzy* é usado com índice para controlar o ventilador do condicionador de ar, reduzindo extremamente o uso do controle manual e o consumo de energia elétrica do compressor/ventilador.

O trabalho desenvolvido por Ravindra, Rao e Chaitanya (2017), tem o foco em usar a energia solar somada a lógica *Fuzzy* direcionada a equipamento de refrigeração, por exigir um consumo alto durante o verão. A metodologia proposta utiliza quatro variáveis como entrada para lógica *Fuzzy*. As entradas selecionadas são: temperatura externa, temperatura de ajuste interna, temperatura de conforto e o tamanho do ambiente. A associação das quatro variáveis resultou em uma saída que foi usada para o gerenciamento mais eficiente do ar condicionado gerando o tempo ideal para seu desligamento. A estimativa da proposta alcançou a redução de 10,5% do consumo de energia durante ano, reduzindo o período de retorno do custo da infraestrutura fotovoltaica em dois anos comparado com uso convencional sem o sistema *Fuzzy*.

Outras soluções desse tipo são usadas para controlar e otimizar o consumo de energia. Os autores Adhikari et al. (2016), apresentam dois métodos para ajuste e controle do condicionador de ar baseado na variação do preço do kWh em tempo real. Os métodos são ativados a partir de um ponto de ajuste escolhido. O primeiro método desliga o condicionador de ar se o preço ultrapassar um limite estipulado pelo autor, o segundo usa os mesmos princípios que o primeiro método, porém existe um pré-resfriamento antes que o condicionado de ar seja desligado tentando manter o conforto do usuário, mas apenas nos primeiros minutos, já que o condicionado de ar só será ligado quando o preço da energia ficar abaixo do limite que foi estipulado pelo autor.

Outro estudo relevante é proposto por Souza e Vidal (2018), que desenvolveram um protótipo para gerenciamento direcionado ao ar condicionado convencional visando um melhor desempenho e economia de energia controlando o funcionamento do compressor. A técnica proposta neste trabalho é aumentar a histerese do termostato que significa um atraso no acionamento ou desacionamento dos componentes do equipamento. O funcionamento do protótipo é realizado baseado na histerese selecionada, em seguida, a temperatura e umidade interna são coletadas e analisadas para ajudar no controle do compressor do equipamento. Se o resultado for: i) frio, o compressor é desligado; ii) quente, o compressor é ligado; iii) confortável, mantém o estado do compressor. O sistema proposto obteve resultados reduzindo o consumo de energia em mais de 10% em alguns momentos e o número de comutações do compressor também é reduzido apenas aumentando a histerese do mesmo.

O Quadro 3 seguinte relaciona os trabalhos referenciados neste capítulo, expondo as lacunas existentes, segundo a ótica do autor desta proposta, as quais servem de motivação para a

elaboração desta dissertação de mestrado.

Quadro 3 – Síntese dos trabalhos pesquisados.

Referências	Principais lacunas encontradas
(MEANA-LLORIÁN et al., 2017)	O gerenciamento empregado ao ar condicionado pelo sistema desenvolvido têm apenas cinco estados, (dois para temperaturas quentes, dois para frias e um neutro), de controle afetando a precisão e a eficiência do modelo.
(KASSAS; AL-TAMIMI, 2018)	O modelo desconsidera as variáveis ambientais externa. A umidade e temperatura externa tem influência direta com no conforto térmico e no consumo de energia; O modelo não fornece o mínimo de conforto térmico quando a temperatura externa está muito elevada.
(JAVAID et al., 2017)	O modelo não fornece o mínimo de conforto térmico quando a temperatura externa está elevada e preço do kWh está alto; A umidade relativa do ar externa é desconsiderada pelo autor, já que existe influência direta no conforto térmico e no consumo de energia.
(YAN; NIU; DENG, 2017)	A sistema desconsidera a umidade relativa do ar externa, já que existe influência direta no conforto térmico e no consumo de energia; A técnica usada aumenta a temperatura interna, porém a circulação de ar também é aumentada reduzindo o consumo de energia, no entanto com eficiência inferior ao modelo proposto neste trabalho.
(CIABATTONI et al., 2015)	O trabalho não fornece o mínimo de conforto térmico quando a temperatura externa está muito elevada; A umidade relativa do ar externa é desconsiderada no trabalho, já que existe influência direta no conforto térmico e no consumo de energia.
(PATEL; CHAMPANERIA, 2016)	Aborda o uso da Lógica <i>Fuzzy</i> para agendamento de utilização de eletrodomésticos a partir de parametrização dos usuários. Não estabelece critérios inteligentes que visem a otimização do consumo de energia.
(SAHA et al., 2014)	O autor não considera a temperatura externa podendo afetar a precisão do conforto térmico e na otimização do consumo; O nível de conforto térmico não fica claro no artigo.
(RAVINDRA; RAO; CHAITANYA, 2017)	A umidade relativa do ar externa é desconsiderada pelo autor, o que pode ter influência direta no o conforto térmico e no consumo de energia; O trabalho mostrou ter um menor desempenho na otimização do consumo de energia comparado ao trabalho proposto.

Referências	Principais lacunas encontradas
(ADHIKARI et al., 2016)	O modelo não fornece o mínimo de conforto térmico quando a temperatura externa está elevada e preço do kWh está elevado; O trabalho mostrou ter um menor desempenho na redução de consumo de energia comparado ao trabalho proposto.
(SOUZA; VIDAL, 2018)	O modelo desconsidera as variáveis ambientais externa, já que a umidade e temperatura externa tem influência direta com o conforto térmico e no consumo de energia; O trabalho mostrou ter um menor desempenho na redução de consumo de energia comparado ao trabalho proposto.

4.3 Considerações Finais

Pelo estudo dos trabalhos expostos neste capítulo, observa-se que há um conjunto de pesquisas sendo realizadas no sentido de especificar e avaliar metodologias e implementações, para efetivar um gerenciamento mais inteligente dos equipamentos que realizam a refrigeração de ambientes residenciais. De certa forma, ainda existem poucos trabalhos publicados relacionados à redução eficiente do consumo energético mantendo o um mínimo de conforto térmico ao usuário, um dos motivos pode estar atrelado a sensibilidade do conforto térmico sentido pelo usuário e também pela relação da temperatura com a umidade gerando uma nova variável que muitos autores não consideram em seus trabalhos. Essa variável pode melhorar a precisão do conforto térmico e a redução do consumo de energia.

Desta forma, este trabalho destaca a relação das variáveis ambientais (temperatura e umidade externa), gerando uma nova variável denominada IC, o que mostrou afetar diretamente no conforto térmico. Essa variável atrelada a temperatura interna (temperatura operante do condicionador de ar) possibilita a análise mais consistente do conforto térmico e do consumo de energia. Essas análises podem ser realizada por inteligencia computacional, por exemplo, a lógica *Fuzzy*, a inteligencia usada nesta dissertação, ajudam a melhorar o controle da temperatura interna e na redução do consumo de energia. Fica evidente a eficiência do módulo implementado em comparação aos trabalhos apresentado nesta seção.

5 MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE (MGI)

5.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo, será apresentado o Módulo de Gerenciamento Inteligente, sua definição, características e funcionalidade como solução inteligente para otimização do consumo de energia aplicado à condicionadores de ar, além disso, sua integração à arquitetura *SmartCoM* proposta por (OLIVEIRA et al., 2017).

Serão detalhadas as definições e características de implementação da técnica de inteligência artificial, baseada em lógica *Fuzzy*, para otimização do consumo de energia sem a necessidade de retirar o conforto térmico do usuário residencial, tornado o controle do equipamento de refrigeração da residência.

5.2 *SmartCoM* e o Módulo de Gerenciamento Inteligente (MGI)

A arquitetura *SmartCoM* foi criada especificamente para o subdomínio da Smart Grid, *Smart Home*. Esta arquitetura oferece um modelo de interoperabilidade inovador definido por uma metodologia baseada em *REST* (do inglês *Representational Start Trasfer*). Esse modelo integra o sistema da concessionária de energia com os equipamentos de medição disponíveis na residência, além disso pode ser integrado à *SmartCoM* o gerenciamento de fontes de energias alternativas (geração distribuída).

A finalidade da arquitetura *SmartCoM* é auxiliar o desenvolvimento de aplicações que integrem novas soluções com a interoperabilidade do sistema para o *Smart Home* de forma transparente, modular, flexível, escalável e confiável, respeitando as regras estabelecidas (COUNCIL, 2008) e (IEEE2030, 2011) 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.

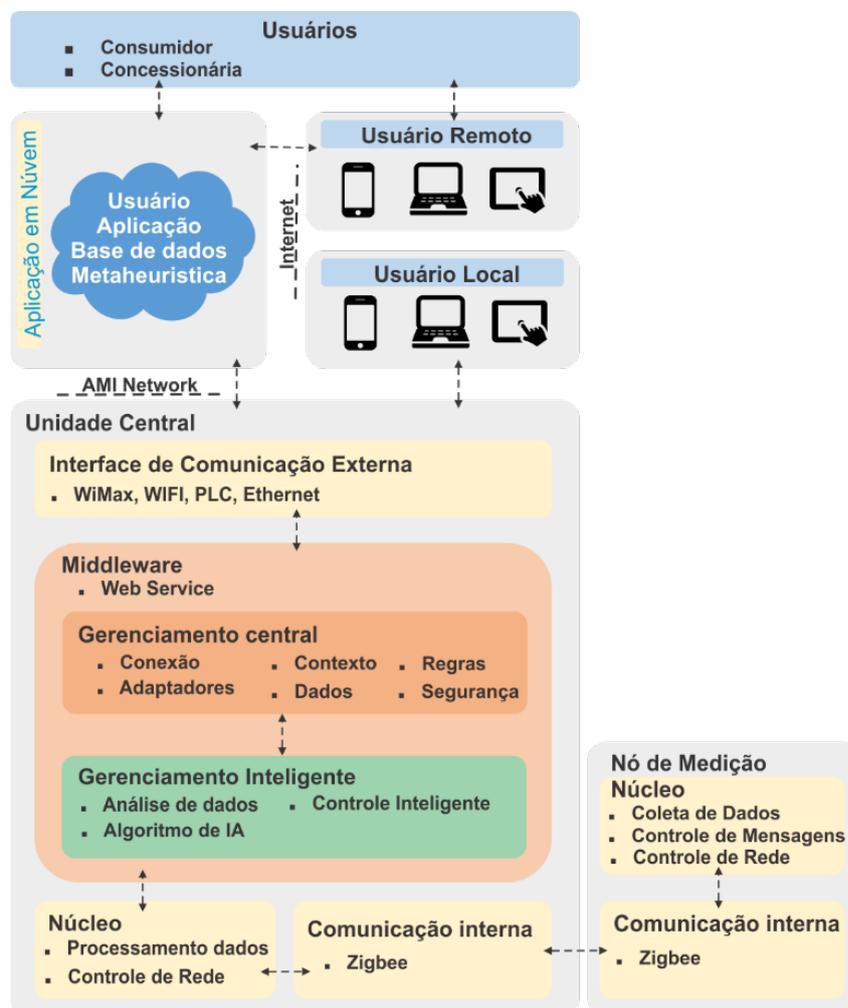
Estruturalmente a arquitetura *SmartCoM* pode ser descrita de duas formas (*Hardware* e *Software*): A parte física (*Hardware*) é composta pelos medidores inteligentes que fazem o monitoramento dos equipamentos da residência e a central de processamento, onde é feito todo o gerenciamento e processamento dos dados, além do armazenamento temporário, também é onde está localizada as regras e os sistemas inteligentes; O *software*, que permite o funcionamento da arquitetura é descrito por vários sistemas que fazem a interligação dos componentes existente na *SmartCoM*, por exemplo, o que envia e coleta os dados, o que recebe e processa os dados e os sistemas que fazem o gerenciamento e acionamento inteligente na residência.

Remotamente, a arquitetura tem a aplicação em nuvem onde é feito o armazenando principal dos dados provenientes da central de processamento por meio de interface de comunicação

e o sistema (aplicativo) que faz as principais requisições clientes/residência.

Como a *SmartCoM* permite a adoção de heurísticas para um gerenciamento mais inteligente por ser uma arquitetura modular, é imprescindível a utilização de técnicas de inteligência computacional com o objetivo de tornar o ambiente mais autossuficiente e confortável. Neste sentido, o MGI proposto neste trabalho, entra como uma solução de inteligência computacional integrado na arquitetura, onde analisará as variáveis que podem ser coletadas do equipamento de medição próprio e/ou de terceiros por conexão com a internet (via interface de comunicação) para um controle mais eficiente da temperatura interna, proporcionando comodidade, conforto e, principalmente, a redução do consumo de energia. A Figura 17 ilustra a arquitetura *SmartCoM*.

Figura 17 – Arquitetura *SmartCoM* com o MGI.



Fonte: (OLIVEIRA et al., 2017).

De forma geral, a *SmartCoM* é dividida em quatro camadas conforme a seguir (OLIVEIRA et al., 2017):

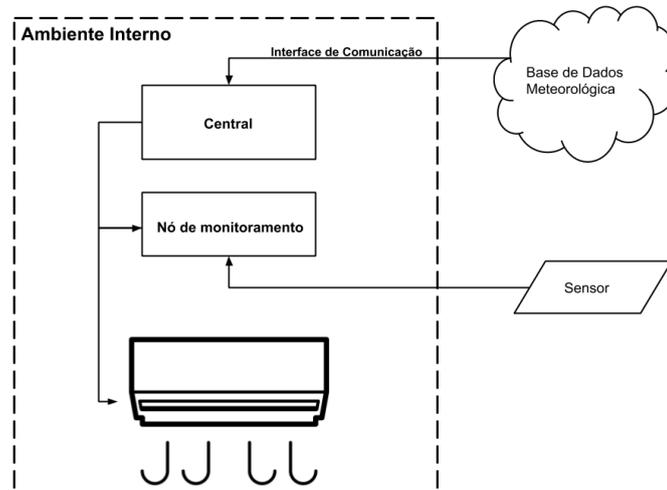
- Nuvem (do inglês, *cloud*): centraliza os serviços essenciais de acesso e o monitoramento remoto dos elementos conectados, desde que ofereça um meio de fornecer informações de

qualquer dispositivo conectado à internet;

- Aplicações Locais: responsáveis pelo gerenciamento dos aparelhos monitorados, por meio de requisições *REST*, sendo capazes de estabelecer um controle completo dos serviços disponíveis, com base no perfil de acesso do usuário;
- Unidade central: responsável por estabelecer níveis de gerenciamento como "gerenciamento de núcleo", conexão, adaptador, contexto, dados, regras e segurança, entre outras áreas, e exigem o uso da arquitetura;
- Nó de medição: responsável por capturar todas as medições dos eletrodomésticos monitorados (aquisição de dados), gerenciando as mensagens de atuação e controle (controle de mensagens) e manipulando os dados enviados e recebidos pela rede (controle de rede).

O MGI proposto neste trabalho é especificado no middleware dentro da camada Unidade central, sendo esta responsável por uma comunicação bidirecional com o gerenciamento de núcleo da *SmartCoM*, e também responsável pela coleta e análise de dados, algoritmo de inteligência e automação. O módulo, por sua vez, pode utilizar duas fontes de dados (variáveis de entrada), os dados provenientes dos sensores ou de bases de dados de fontes externas. Os dados dos sensores são aferidos na parte externa da residência pelo próprio equipamento de monitoramento da *SmartCoM* e são enviados para a central onde são processados e analisados para gerar o resultado que ajude na tomada de decisão. Os dados de fontes externas podem ser coletados de qualquer lugar conectado a Internet via interface de comunicação. Após o armazenamento desses dados, a metodologia empregada é a mesma usada quando é feito a coleta por sensores.

Para análise dos dados de temperatura e umidade pelo módulo, é necessário inicialmente a aquisição/coleta, neste caso, partindo das mesmas definições estabelecidas pela *SmartCoM*, o MGI permite a customização (flexibilidade) de definir as formas de serem adquiridos, por exemplo, por fontes externas (bases de dados especializadas de cunho meteorológicas) ou por sensores instalados nos cenários de atuação. A Figura 18 ilustra os modos de coletas de dados do MGI.

Figura 18 – O MGI coletando dado por sensor.

Fonte: Própria do autor.

A Figura 18 ilustra o funcionamento do módulo de gerenciamento inteligente coletando dados por sensores. O sensor fará a coleta na parte externa do ambiente residencial. A coleta realizada, será encaminhada para o nó de monitoramento e em seguida será repassado para a central, onde será feita as análises dos dados, e por fim, a tomada de decisão selecionando a melhor temperatura para o ambiente interno.

A coleta na nuvem é realizada via interface de comunicação característico da arquitetura *SmartCoM*. A central coleta a informação da base de dados de institutos meteorológicos na internet, por exemplo, via interface *REST*, armazena e analisa os dados para a tomada de decisão.

5.3 Metodologia

Neste trabalho foi implementada a técnica de inteligência artificial baseada em Lógica *Fuzzy* usando a ferramenta Matlab®, para determinar a melhor temperatura para o ambiente e a partir disso gerar um conforto satisfatório ao usuário. Além da utilização da técnica de IA, para melhor precisão da atuação no ambiente, foi necessário construir a tabela de correlação de temperatura e consumo de energia do condicionador de ar a partir da medição usando o nó de monitoramento da arquitetura *SmartCoM*.

5.3.1 Escolha da Técnica de Inteligência Artificial

Diferentes tipos de aplicações usam inteligência artificial para previsão, classificação ou determinar qual melhor decisão a ser tomada baseado em conhecimento prévio, ou até mesmo com alimentação de bases de dados em tempo real, com ou sem supervisão de um especialista. Essas características dependerão do problema a ser solucionado. Os métodos mais comuns em

sistemas inteligentes são, como por exemplo, Algoritmo Genético, Lógica *Fuzzy* e Redes Neurais, e para automação a lógica *Fuzzy* é uma das mais utilizadas (MENDONÇA; ANDRADE; NETO, 2018).

O Controlador Lógico *Fuzzy* (CLP) pode detectar mudanças repentinas sem necessitar de uma alta capacidade de processamento, tornando-se eficiente para aplicações de alerta e tomada de decisão, também conhecida como lógica nebulosa ou difusa, incorporando a experiência, a intuição, o conhecimento especializado e a natureza imprecisa baseada no processo de decisão humana por meio de conjuntos de regras simples. A lógica *Fuzzy* não necessita do pré-conhecimento, é rápida, responsiva e usa matemática simples. Recomendada para sistemas residenciais, possui uma característica não-linear, flutuação na entrada e variação do ambiente analisado (LETTING; MUNDA; HAMAM, 2011). Por essas características a lógica *Fuzzy* é adotada no módulo de gerenciamento inteligente.

5.3.2 Implementação da Lógica *Fuzzy*

A lógica *Fuzzy* adotada no MGI tem a finalidade de controlar a temperatura do ambiente onde o usuário está inserido mantendo o mínimo de conforto possível baseado na análise ambiental externa (temperatura e umidade) relacionado com a temperatura atual de operação do condicionador de ar, evitando, assim, o desperdício de energia desnecessário, como exemplo, à noite quando a temperatura do ar externa é menor ou quando está chovendo, a temperatura diminuir ao decorrer do evento.

O sistema *Fuzzy* proposto consiste em duas variáveis de entradas (*Inputs*), sendo uma caracterizada pelo Índice de Calor (IC) e a outra pela Temperatura Operante (TO) do condicionador de ar.

O banco de regras é criado a partir da combinação dos seus *Inputs*, gerando no primeiro momento 30 regras. Após análise da associação das entradas, as regras foram reduzidas para 21 combinações por razão que o sistema *Fuzzy* tem características nebulosa e a quantidade de regras possível não pode ser o mesmo que todas as combinações de suas entradas ressaltando a importância da análise de um especialista com o objetivo de remover as regras menos pertinentes sem impactar no resultado.

A saída (*output*) é definida por somente uma variável chamada de “temperatura ideal” ou “índice de conforto” que será usado para a tomada de decisão no MGI.

5.3.2.1 Índice de Calor – Entrada

A variável índice de calor usado como entrada na lógica *Fuzzy*, é uma forma de expressar a sensação de desconforto gerado a partir da relação de duas grandezas ambientais (temperatura e umidade) que influenciam diretamente no comportamento e no consumo de energia residencial. A Equação 8 do IC adaptada de (ROTHFUSZ; HEADQUARTERS, 1990), mensura o desconforto

térmico por calor intenso, no qual relaciona a temperatura (T) e umidade relativa do ar (R) para a estimativa da sensação térmica que realmente é sentida pelo usuário residencial.

$$\begin{aligned}
 IC = 1.8 &((-42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R - 0.22475541TR \\
 &- 6.83783 * 10^{-3}T^2 - 5.481717 * 10^{-2}R^2 + 1.22874 * 10^{-3}T^2R \\
 &+ 8.5282 * 10^{-4}TR^2 - 1.99 * 10T^2R^2) - 32)
 \end{aligned} \quad (8)$$

Onde:

IC = Índice de Calor dado em °C.

R = Umidade Relativa do ar, fornecida em %.

T = Temperatura do ar, sendo a temperatura em °F.

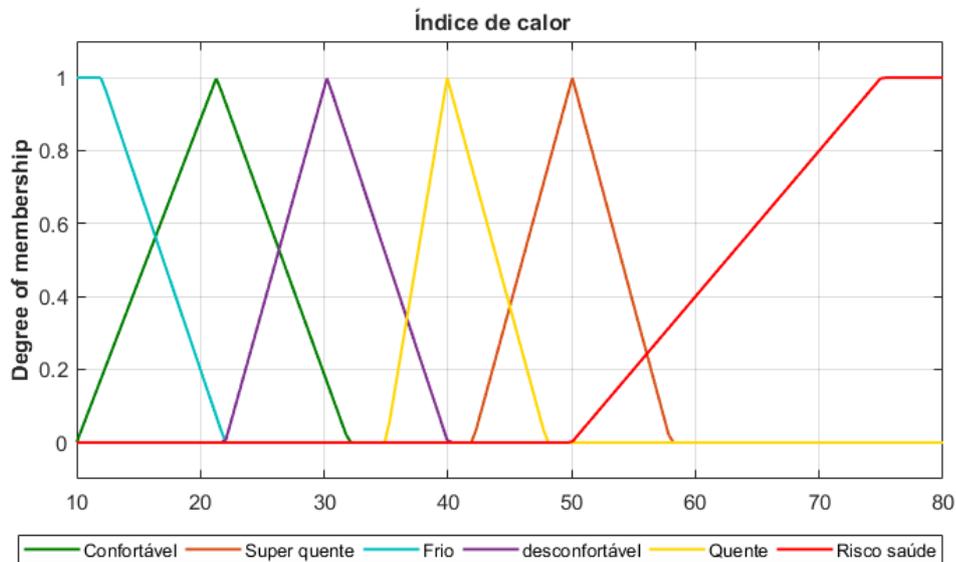
Em seguida, os resultados do IC, são comparados com a Figura 19 (NOAA, 1995) que fornece os níveis de alerta e as consequências que a sensação térmica proporciona aos seres humanos que serviu como base para criar as funções de pertinência na lógica *Fuzzy*.

Figura 19 – Classificação do Índice de Calor.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Síndrome de Calor (Sintomas)
Perigo extremo	54° C ou mais	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1° – 54° C	Cãimbras, insolação e provável esgotamento. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1° – 32° C	Possibilidade de cãimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
Cautela	27,1° – 32° C	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Não há alerta	Menor que 27° C	Não há problemas.

Fonte: Própria do autor.

O IC é fuzzificado baseado na Figura 19, porém os intervalos de cada função de pertinência do IC, foram refinados para melhorar os resultados. As funções de pertinência convertem os dados reais em variáveis linguísticas *Fuzzy* (por exemplo, Frio, Conforto e quente), facilitando a associação das entradas no sistema *Fuzzy*. Cada curva criada, é a que define cada ponto mapeando para um valor de associação (Grau de pertinência) ilustrado na Figura 20.

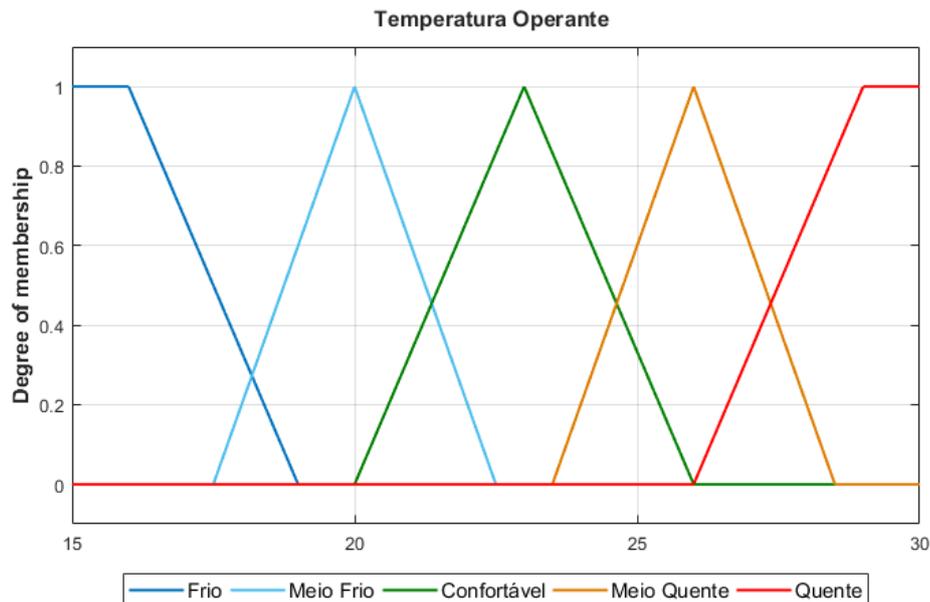
Figura 20 – Funções de pertinência do índice de calor.

Fonte: Própria do autor.

As funções de pertinência do Índice de Calor, o qual são definidas faixas de temperaturas apresentam os seguintes intervalos: (i) frio quando se encontra abaixo de 21 °C; (ii) confortável entre 10 e 32 °C; (iii) desconforto entre 22 e 40 °C; (iv) quente entre 34 e 48 °C; (v) muito quente entre 42 e 58 °C e; (vi) risco a saúde quando se encontra superior a 50 °C. Cada curva é representada por uma porcentagem (0 100%) de sensação de calor térmica sentida durante o decorrer do dia. Por exemplo, a curva em roxo indica que acima de 30 °C já começa o desconforto térmico.

5.3.2.2 Temperatura Operante – Entrada

A segunda entrada no *Fuzzy*, presente no MGI, é caracterizado com a temperatura operante do condicionado de ar. Essa temperatura é a que estará em operação (setada no condicionador de ar) no momento em que estiver em funcionamento. O método de entrada funcionará da seguinte forma: No algoritmo a primeira variável de entrada no sistema *Fuzzy* será inicializado com uma temperatura média escolhida pelo especialista apenas para a inicialização do MGI. Após a estabilização da entrada, a temperatura operante será sempre a última variável selecionada no condicionador de ar, ou seja, a última saída que a lógica *Fuzzy* resultou para o sistema.

Figura 21 – Funções de pertinência da temperatura operante.

Fonte: Própria do autor.

A temperatura operante (Figura 21), sendo subdividida em seis funções de pertinências baseadas no conceito de conforto térmico (HEATING; REFRIGERATING; ENGINEERS, 2004), no qual define faixas de temperatura representadas pelos seguintes intervalos: (i) frio quando a temperatura interna está abaixo de 19 °C; (ii) meio frio entre 18 e 22 °C; (iii) confortável entre 20 e 26 °C; (iv) meio quente entre 24 e 29 °C; (v) quente quando a temperatura se encontra superior a 26 °C.

5.3.2.3 Base de Regras

Conforme apresentado no Quadro 4, a base de regras da lógica *Fuzzy* é composta por 21 regras e todas com a características “se – então” (no inglês *if-then*), e um exemplo básico é apresentado a seguir:

“SE um conjunto de condições são satisfeitas ENTÃO um conjunto de consequências podem ser inferidas”

Quadro 4 – Regras do sistema *Fuzzy*.

		Temperatura Operante				
Entradas		Frio	Meio Frio	Confortável	Meio quente	Quente
Índice de Calor	Frio	Desligado				M. Quente
	Confortável	Desligado				M. Frio
	Desconfortável	M. Frio	M. Frio	M. Frio	Frio	Frio
	Quente	Frio	Frio	M. Frio	Máximo	Máximo
	Super quente	Frio	Frio	Frio	Máximo	Máximo
	Risco saúde	Frio	Máximo			

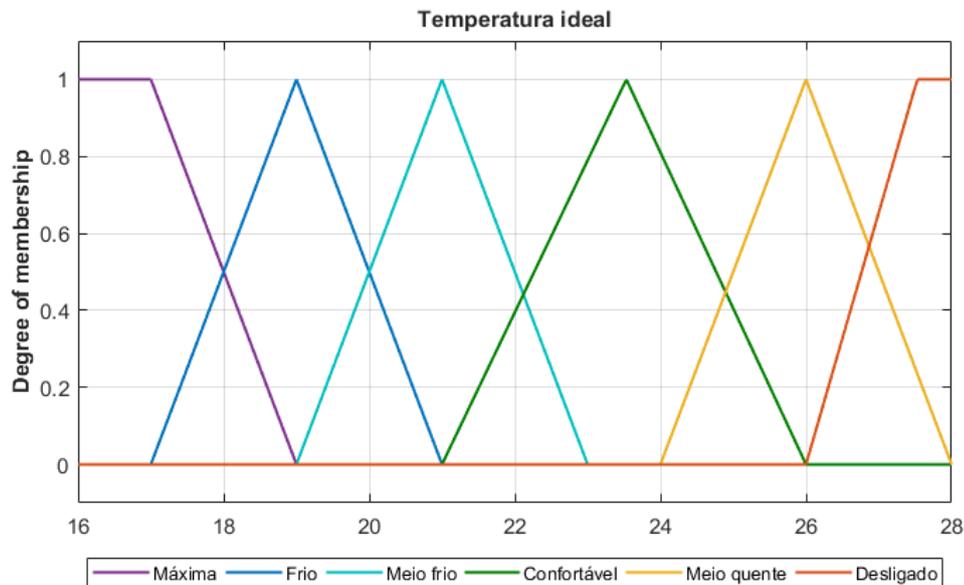
Fonte: Própria do autor.

Com as duas entradas, seria possível realizar 30 “*if-then*” regras. No entanto, para manter o sistema *Fuzzy* mais nebuloso, a análise de um especialista se fez necessária (NOMURA; HAYASHI; WAKAMI, 1992) para retirada das regras desnecessárias, mantendo as principais, para que a resposta seja adequada para todos os cenários abordados.

O modelo de inferência de interesse nesta proposta é o Mamdani, considerando ser mais intuitivo e adequado à imprecisão humana, encaixando-se melhor ao contexto do problema abordado tornando-se a forma mais amplamente implementada de inferência *Fuzzy* em algoritmos práticos e de pouca necessidade de resultados precisos (GARIBALDI; WAGNER, 2014).

5.3.2.4 Temperatura Ideal – Saída

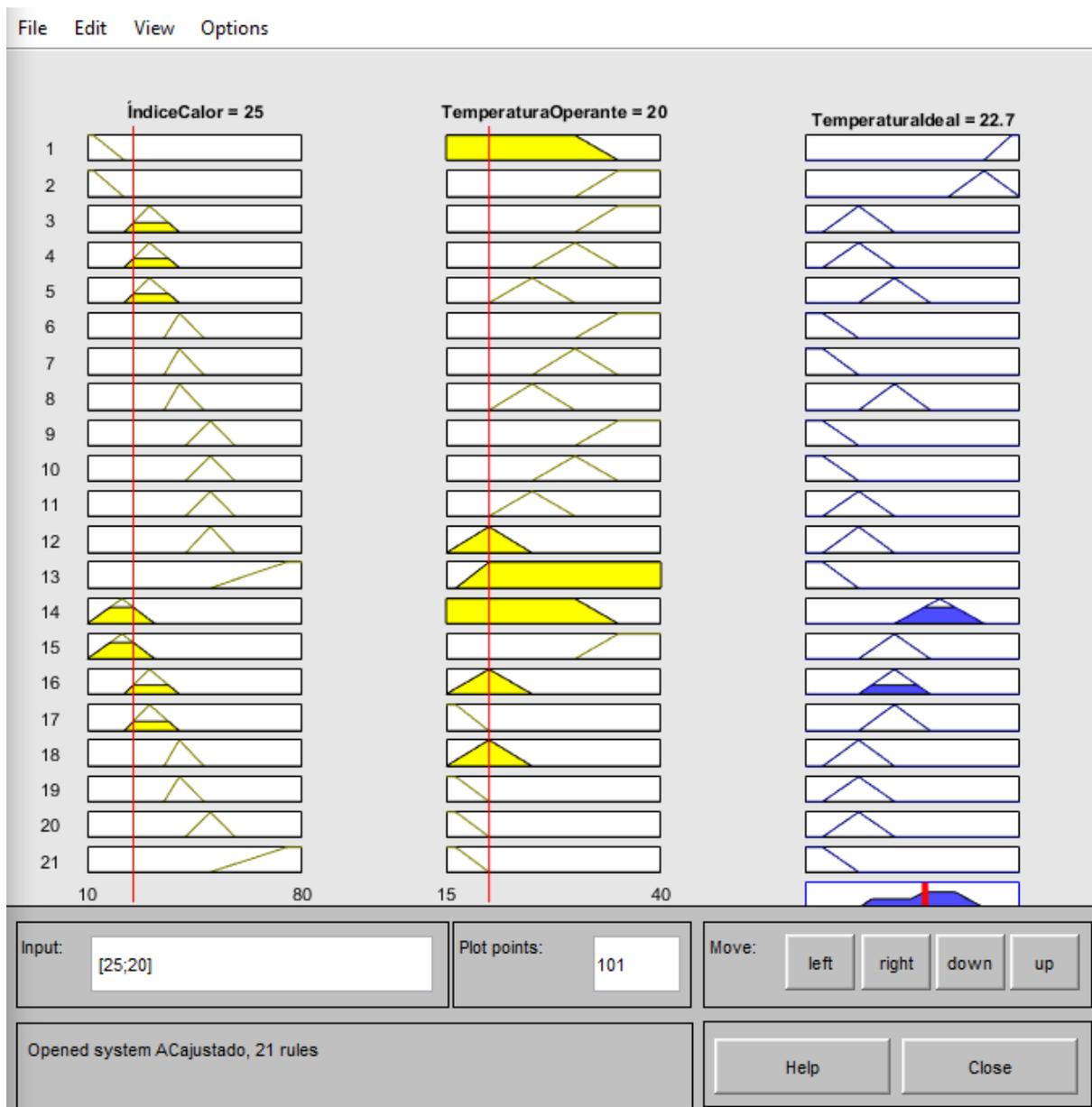
A saída do sistema *Fuzzy* particularmente depende de suas variáveis de entrada (Índice de calor e a Temperatura Operante). Quando os valores de entrada são alterados, a saída também é modificada. Esta é caracterizada por duas curvas trapezoidais e quatro curvas triangulares, como pode ser analisado na Figura 22, nos quais tem seus pontos de pertinência nos valores que correspondem a temperatura ideal do ambiente ou índice de conforto térmico.

Figura 22 – Funções de pertinência da temperatura ideal.

Fonte: Própria do autor.

Após a execução da máquina de inferência *Fuzzy*, a saída “temperatura ideal” pode assumir um dos 6 estados possíveis, o que significa que pode estar ou não dentro do intervalo do conforto ideal (21 a 26 °C) estabelecido por (ISO7730, 2005). Por exemplo, a primeira entrada no sistema *Fuzzy* será o índice de calor (IC) e a segunda será a temperatura operante, caso a variável de entrada do IC atribua o valor de 25 °C, a sobreposição terá uma porcentagem em cada função de pertinência com 60% conforto e 40% desconfortável, e caso a segunda entrada receba um valor de 20 °C, o qual a porcentagem para a função de pertinência é máxima (100%) conforme na Figura 21. O resultado desta associação irá gerar uma saída que é referente a temperatura ideal apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Entradas e saída da lógica Fuzzy.



Fonte: Própria do autor.

5.4 Considerações Finais

Com a elaboração do módulo de gerenciamento inteligente integrado a arquitetura, pode-se afirmar que o controle de equipamentos que fazem a climatização artificial do ambiente pode ser autossuficientes melhorando a eficiência no consumo energético sem perder o conforto térmico dos usuários residenciais.

6 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS

6.1 Considerações iniciais

Nesta capítulo, será apresentado a coleta e a análise dos dados, assim como, os resultados do estudo de caso, no qual foi implementado o Módulo de Gerenciamento Inteligente. A aferição do consumo de energia do condicionador de ar para estimar o consumo baseado no IC para ano de 2017.

Todos os resultados obtidos visam a comparação do MGI com o modelo convencional, no intuito de apresentar o comportamento e a eficiência do modelo proposto nesta dissertação.

6.2 Monitoramento do Condicionador de Ar

O estudo foi realizado na cidade de Belém, capital do estado do Pará/Brasil, onde o clima é tropical e isso implica em temperaturas altas na maior parte do ano. Para garantir um mínimo de conforto térmico é preciso que equipamentos ajudem na climatização artificial do ambiente, e isso significa um maior consumo de energia, já que os eletrodomésticos são os principais responsáveis pelo consumo excessivo de energia, que na maior parte corresponde a 60% do consumo residencial (CHAUDHURI et al., 2017).

Para ajuste dos parâmetros iniciais do MGI, foi realizado monitoramento de tensão e corrente para encontrar o consumo de energia para cada temperatura em operação de um condicionador de ar conforme especificações na Tabela 1. O monitoramento ocorreu da seguinte forma: foi determinado a coleta de dados para as temperatura de 20 °C a 26 °C, no período de um hora cada, foi constatado que as temperaturas menores ou iguais a 19 °C não mostraram diferença no consumo, portanto definiu-se como o consumo máximo do condicionador de ar. O monitoramento do condicionador de ar ocorreu no período (entre 12 e 17h do dia) em que a temperatura estava mais elevada para determinar um ambiente com as piores condições possíveis para poder verificar a eficácia do modelo proposto.

O consumo de um condicionador de ar está atrelado ao funcionamento do compressor (disparos), igualmente ao funcionamento de uma geladeira, quanto maior for o tempo que o compressor passa ligado, maior será o consumo de energia. Outro ponto importante que influencia no comportamento do compressor são as variáveis meteorológicas, por exemplo, se a temperatura externa estiver em equilíbrio com a temperatura do ambiente monitorado, menor será o tempo que compressor passa ligado.

Tabela 1 – Especificações do condicionador de ar e da área.

Equipamento	Potência/W	BTUs	Espaço monitorado m^2
Condicionador de ar	800	9000	7

Após a coleta dos dados pelo equipamentos da *SmartCoM*, os mesmo foram convertidos para a unidade padrão quilowatt-hora (kWh). Essa conversão foi realizada para representar o consumo de energia do condicionador de ar por cada temperatura, como é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo elétrico por temperatura.

Temperatura	Consumo (kWh)
26 °C	0.16
25 °C	0.32
24 °C	0.39
23 °C	0.41
22 °C	0.43
21 °C	0.45
20 °C	0.51
16 - 19 °C	0.56

Nos monitoramentos realizados, foi constatado que ao selecionar as temperaturas menores ou igual a 19 C, o equipamento não apresentou mudanças no consumo, ou seja, o compressor ficou o tempo todo ligado, portanto, ficou determinada para estas temperaturas o consumo máximo.

6.3 Coleta e Análise de Dados

A base de dados (temperatura e umidade) usada foi cedida pela (Instituto Nacional de Meteorologia) INMET (INMET, 2018), que é o órgão responsável por prover informações de monitoramento, análise e previsão do tempo e clima. A escolha da base de dados é justificada por se uma série histórica de temperatura e umidade da região estudada, ou seja, podem ser desenvolvidos modelos a partir da análise desses dados que possam ajudar na otimização do consumo de energia direcionado aos equipamentos com o objetivo de climatizar o ambiente.

Na primeira etapa os dados foram extraídos do INMET via interface de comunicação e em seguida foi realizado o tratamento que consistiu em converter o horário que estava em UTC (*Universal Time Coordinated*) para o horário oficial de Brasília. O dados correspondem a temperatura e umidade além de outras variáveis (velocidade do vento, radiação, pressão, pto. de

orvalho e chuva) referente ao ano de 2017 que foi aferido na estação automática de meteorologia de Belém 24h por dia.

Posteriormente, os dados usados para os experimentos seguiram a metodologia de simular o uso real do condicionador de ar em ambiente residencial, onde os horários usados para compor este estudo consistem no período de 22 às 6h e 8 às 18h. O dados referentes aos horários que não foram usados no experimento foram excluídos, assim como outras variáveis que não são pertinentes. Por tanto, uma nova base de dados é gerada a partir do cálculo do índice de calor realizada na base tratada.

A nova base de dados foi utilizada como entrada na lógica *Fuzzy* junto com a temperatura operante. A validação do MGI foi realizada na ferramenta Matlab® (ambiente de implementação e da lógica *Fuzzy*), para estimar o consumo de energia do ano de 2017 em condicionadores de ar. Foram definidos dois experimentos, o primeiro consiste em analisar o consumo baseado no IC para todos os meses de 2017 e o segundo foi a análise de um dia do mês, escolhido aleatoriamente do mesmo ano.

A lógica *Fuzzy* associa as duas variáveis para que as regras calculem a melhor saída resultando uma temperatura ideal de hora em hora. No início do processo, a primeira variável da temperatura operante é determinada pelo autor para que inicialize o processo, a partir da inicialização, a entrada temperatura operante sempre será a última temperatura ideal passada para o condicionador de ar. Isso evita os ruídos, que são gerado quando a coleta é realizada por intermédio de um sensor instalado na residência, já que quando é selecionado uma temperatura para o condicionador de ar convencional, a temperatura varia entre um intervalo de três a quatro graus no ambiente climatizado. Essa variação cria ruídos que afetam na saída da lógica *Fuzzy* e resulta em temperatura ideais erradas (falso positivo).

Desta forma, cada experimento resulta em uma resposta de temperatura ideal usada para gerar o consumo energético do condicionador de ar. Para determinar o consumo, cada resultado de temperatura a partir da saída da lógica *Fuzzy* é relacionada com a Tabela 2 gerando um consumo total de energia diário ou mensal. O Algoritmo 1 descrito a seguir é usado para

determinar o consumo elétrico por temperatura.

Algoritmo 1: ESTRUTURA BÁSICA DE ASSOCIAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E CONSUMO

Entrada: TI: Base de dado temperatura ideal

Entrada: T: Temperatura mensurada

Entrada: kWh: base de dados de consumo para cada temperatura

Entrada: C = 0;

1 **repita**

2 Se TI = T

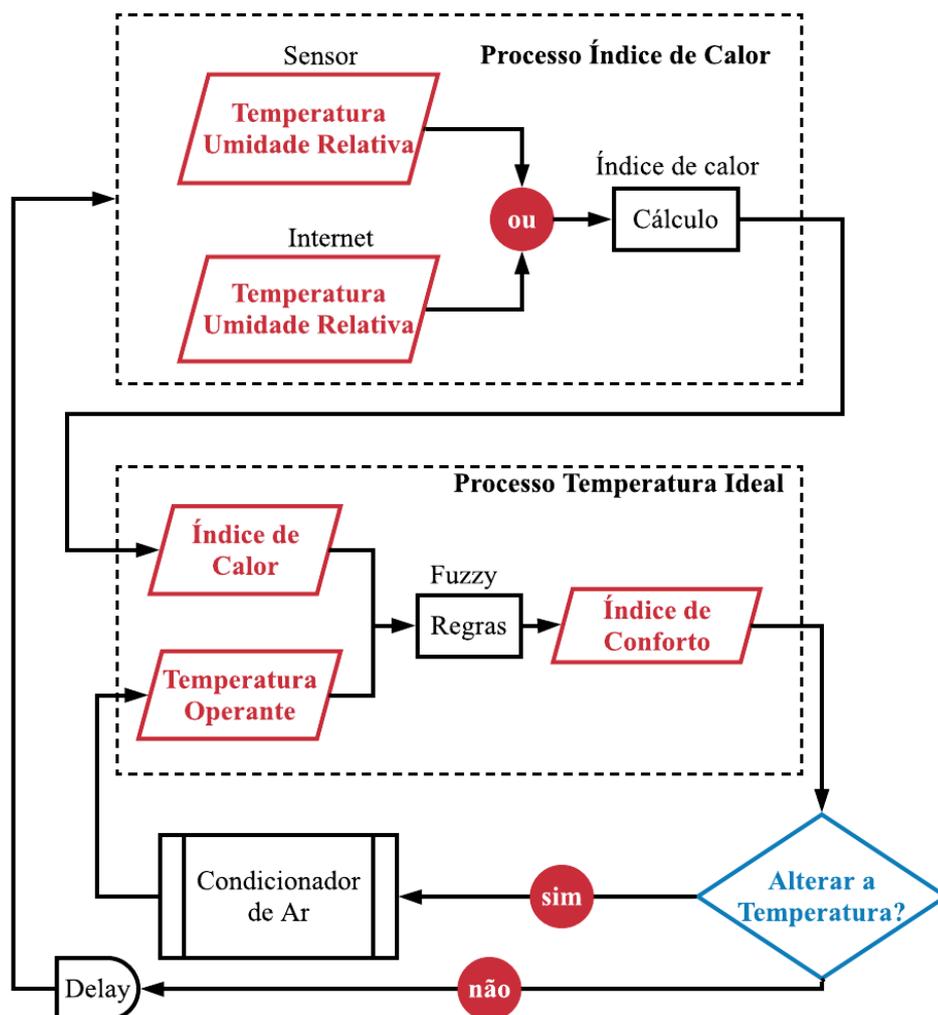
3 C ← kWh;

4 **Até** critério de parada ser satisfatório;

5 **Retorna** C;

Para ilustrar o funcionamento da lógica do MGI, a Figura 24 ilustra os principais processos que determinam a melhor temperatura para ambientes internos residenciais.

Figura 24 – Processo do gerenciamento inteligente.



Fonte: Própria do autor.

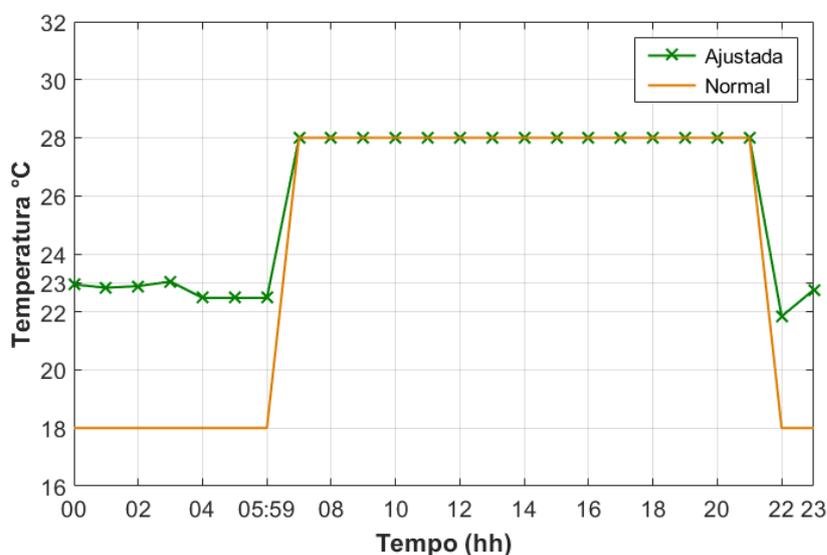
O processo inicia pela escolha da coleta de dados (temperatura e umidade) no primeiro momento, o que pode ser tanto pela internet quanto por sensores instalados na própria residência, em seguida é executado o cálculo do índice de calor gerando uma nova base de dados que será usada como entrada na lógica *Fuzzy*. Essa nova base de dados será relacionada com a temperatura operante coletada a partir da temperatura selecionada no próprio condicionador de ar, por meio de um sistema baseado em lógica *Fuzzy*, por fim, se obtém a temperatura ideal para a tomada de decisão, na hipótese de não precisar alterar a temperatura, o sistema entra em *delay* (modo de espera) e retorna ao início para executar todos os processos novamente.

6.4 Resultados

Foram realizados quatro experimentos para estimar o consumo diário (dois para MGI e dois para modelo convectivo) e quatro para estimar o consumo anual de 2017 (dois para MGI e dois para modelo convectivo). Os experimentos foram divididos da seguinte forma: Quatro para as temperaturas diurnas que mostraram-se elevadas em determinados pontos e divididas entre o MGI e o modelo convencional; quatro para temperaturas noturnas onde ficou evidente que é mais uniforme que as temperaturas do dia. Os dados apresentados no Quadro 5 e 6 e nas Figuras 27 e 28 são as relações dos resultados do gerenciamento inteligente com o consumo aferido do condicionador de ar.

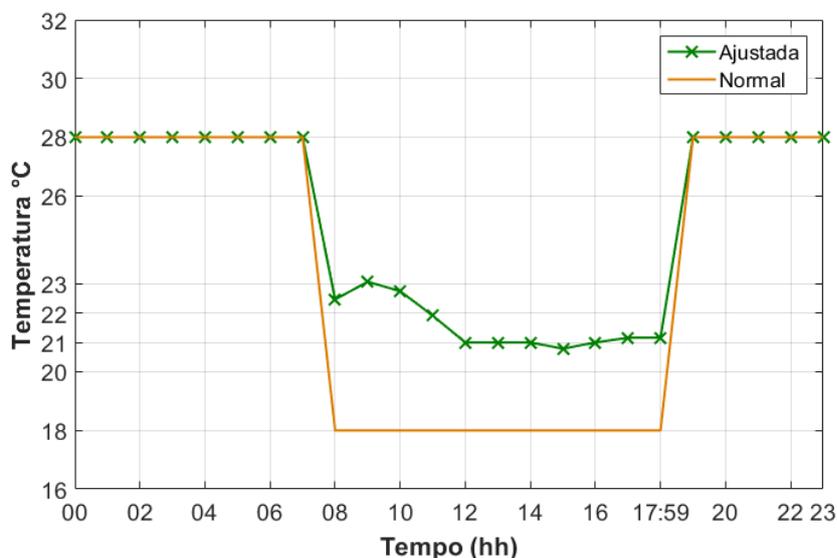
As Figuras 25 e 26 ilustram os resultados do MGI para controle automático do condicionador de ar para estimar uma temperatura ideal. O experimento foi realizado para demonstrar a eficiência do modelo proposto comparado ao uso normal do equipamento (sem a utilização de qualquer mecanismo de otimização do consumo de energia). As temperaturas ajustadas ficaram dentro do intervalo de conforto térmico das normas (NBR6401, 1980), (ISO7730, 2005).

Figura 25 – Temperatura estimada usado MGI e convencional para o período noturno.



Fonte: Própria do autor.

Figura 26 – Temperatura estimada usado MGI e convencional para o período diurno.



Fonte: Própria do autor.

O quadro 5 mostra o consumo estimado para o dia 1 de janeiro de 2017, com redução para os dois períodos, porém, sendo mais eficiente durante a noite com 25% de redução no consumo por ter temperaturas externa menores que a do dia que mostrou redução de 21%.

Quadro 5 – resultados do consumo diário.

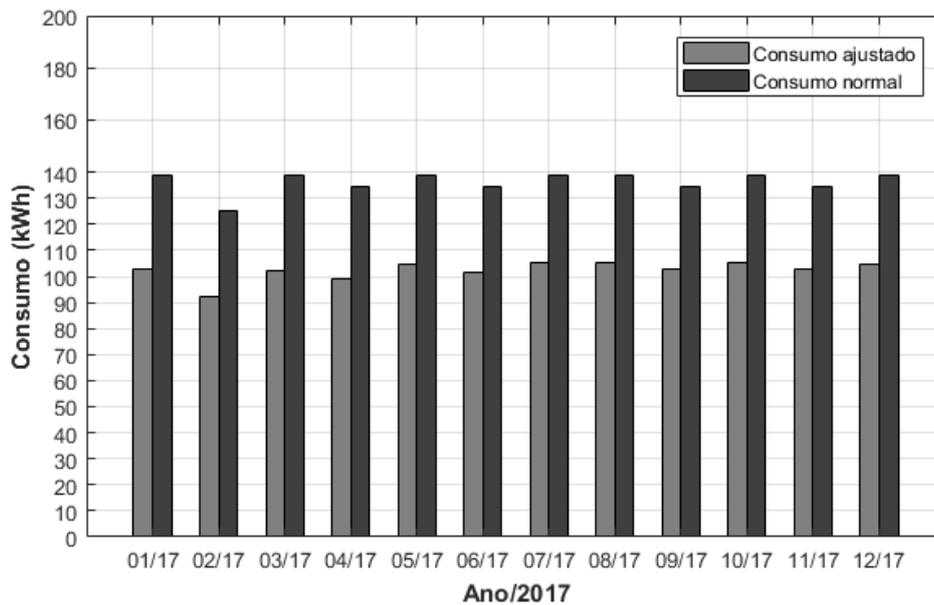
	Uso	Consumo (kWh)
Noite (22 as 6h)	Normal	4,48
	Ajustado	3,34
Redução		25%
Dia (8 as 18h)	Normal	5,6
	Ajustado	4,38
Redução		21%

Fonte: Própria do autor.

As Figuras 27 e 28 ilustram o consumo de energia estimado para o ano de 2017. O resultado para o período noturno, compara o consumo normal com o ajustado mostrando a eficiência do modelo proposto com redução em todos os meses. O consumo ajustado ficou abaixo de 110 kWh, enquanto o consumo normal ficou acima de 135 kWh. No modo normal o usuário

seleciona apenas uma temperatura e permanece constante durante toda a utilização, e no ajustado o sistema escolhe a melhor temperatura para aquele momento, preservando o conforto térmico.

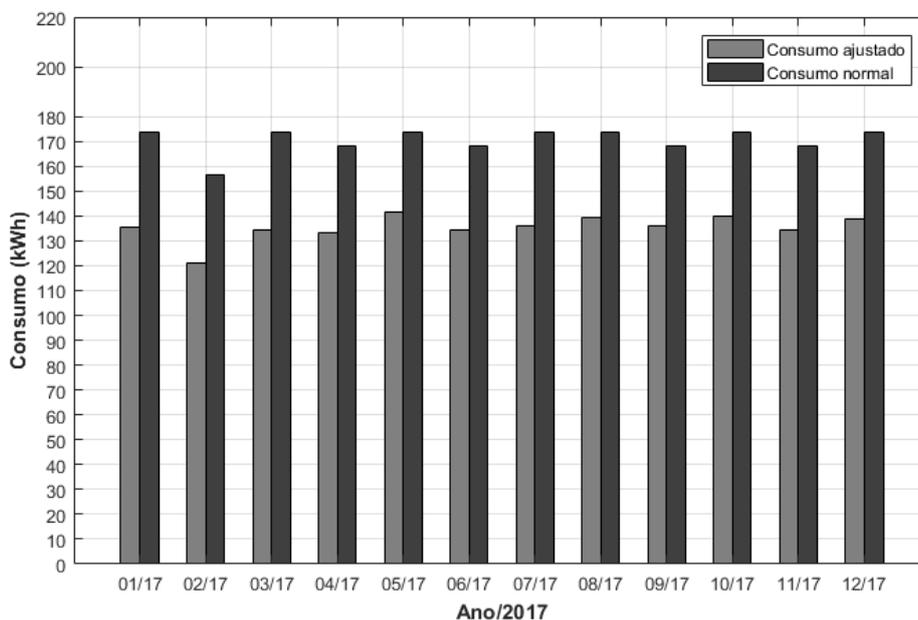
Figura 27 – Temperatura estimada usado MGI e convencional noturno anual.



Fonte: Própria do autor.

No período diurno, ilustrado na Figura 28, os resultados mostram um consumo maior para os dois modelos, esse comportamento pode ser explicado pela temperatura elevada durante o dia, contudo, o modelo foi mais eficiente que o convencional, com consumo próximo a 145 kWh, enquanto o normal ficou próximo a 155 kWh.

Figura 28 – Temperatura estimada usado MGI e convencional diurno anual.



Fonte: Própria do autor.

O Quadro 6 apresenta o consumo normal e ajustado nos dois períodos e os valores de redução para cada mês do ano de 2017, sendo que alguns meses foram mais eficiente do que em outros. Os meses com maior redução no consumo, são aqueles com maior incidência de chuva, implicando em temperaturas mais baixas. No caso em que o usuário optasse pela *SmartCoM* com a presença do MGI, teria uma redução de 24,5% para período noturno e 20,1% para o diurno em média ao longo do ano de 2017.

O modelo proposto demonstrou ser eficiente na redução de consumo e, principalmente, em manter o conforto térmico.

Quadro 6 – Resultados do consumo anual.

Meses	Noite (22 as 6h)			Dia (8 as 18h)		
	Normal (kWh)	Ajustado (kWh)	Redução	Normal (kWh)	Ajustado (kWh)	Redução
Jan.	138,8	102,8	25,9%	173,6	135,4	22,0%
Fev.	125,4	92,5	26,2%	156,8	120,9	22,9%
Mar.	138,8	101,9	26,6%	173,6	134,3	22,6%
Abr.	134,4	99,3	26,1%	168,0	133,4	20,6%
Mai.	138,8	104,3	24,9%	173,6	141,3	18,8%
Jun.	134,4	101,6	24,4%	168,0	134,2	20,1%
Jul.	138,8	105,5	24,0%	173,6	136,0	21,6%
Ago.	138,8	105,1	24,3%	173,6	139,4	19,7%
Set.	134,4	102,7	23,5%	168,0	136,2	18,9%
Out.	138,8	105,3	24,1%	173,6	140,0	19,3%
Nov.	134,4	102,6	23,6%	168,0	134,2	20,1%
Dez.	138,8	104,5	24,7%	173,6	138,6	20,1%
Média	138,8	102,7	24,5%	173,6	135,7	20,1%

Fonte: Própria do autor.

6.5 Considerações Finais

O modelo integrado a arquitetura *SmartCoM* mostrou-se uma metodologia bastante eficaz, tanto na redução do consumo de energia elétrica quanto em manter o conforto térmico em ambientes residenciais. O impacto na otimização do consumo é maior quando está no período chuvoso, por ter temperatura menores ao decorrer do dia. O MGI comparado ao modelo convencional obteve melhores resultados em todos os experimentos apresentando eficiência no controle do sistema de refrigeração de ambientes climatizados artificialmente.

7 CONCLUSÕES

A especificação do módulo de gerenciamento inteligente implementado para a integração na arquitetura *SmartCoM*, mostrou-se eficiente na otimização do consumo de energia com redução significativa comparado aos trabalhos relacionados, a partir das variáveis de entrada: temperatura e umidade relativa do ar externa; o índice de calor; temperatura operante do condicionador de ar. O módulo manteve a eficiência mesmo quando a temperatura externa estava muito elevada, considerando o conforto térmico padrão ao usuário estabelecidos pelas normas ISO 7730, NBR 6401.

Dados aos resultados apresentados, o módulo pode ser aplicado em diversos ambientes com a tentativa de amenizar o consumo excessivo de energia, que pode refletir na composição das bandeiras tarifárias, principalmente onde o clima tem índices de calor mais elevados. Por exemplo, em residências da região norte do Brasil ou até mesmo em prédios de órgãos públicos e privados onde o gerenciamento de energia muitas vezes não é supervisionado. O MGI foi testado e validado usando o condicionador de ar convencional, porém pode ser usado para o gerenciamento de equipamentos mais modernos, com o condicionador de ar inverte, que podem apresentar uma maior redução no consumo de energia comparado ao convencional.

O MGI foi desenvolvido levando em consideração as especificações da arquitetura *SmartCoM*. Desta forma, pela flexibilidade e modularidade permite a integração de outras técnicas de inteligência artificial que podem substituir a lógica *Fuzzy*, na tentativa de melhorar a eficiência de redução do consumo de energia e a experiência do ocupante com o conforto térmico. Além disso, o módulo também permite integrar ou criar novas metodologias, adicionando outras variáveis para deixar o gerenciamento mais customizado para o usuário. O MGI pode ser usado em outros países que tenham o clima semelhante ao do Brasil sem perder sua eficiência no gerenciamento.

Portanto, o trabalho proposto mostrou ter bons resultados usando a lógica *Fuzzy* para gerenciar o condicionador de ar de forma mais inteligente, evitando o desperdício de energia e o desconforto do ocupante. O MGI também permite a conexão/integração com outras soluções baseadas no conceito de Smart Grid, Smart City, Smart Home e IoT, visando um gerenciamento mais inteligente.

7.1 Contribuições da Dissertação

O MGI oferece uma grande quantidade de contribuições para o ambiente *Smart Home*. Algumas das principais contribuições estão listadas abaixo:

- A proposta da implementação e integração de um módulo na arquitetura *SmartCoM*, visando a eficiência energética de um condicionador de ar, além de, proporcionar conforto

térmico ao ocupante da residência;

- A flexibilidade da metodologia proposta que a torna capaz de incorporar novos elementos e variáveis, com a possibilidade de deixar mais customizada e podendo obter resultados mais precisos;
- A realização de um amplo estudo da lógica *Fuzzy* visando à tomada de decisão em ambientes constantemente mutável, compreendendo as principais características, aspectos envolvidos e a caracterização do modelo de estudo;
- O controle mais autossuficiente do condicionador de ar, prezando o conforto do ocupante baseado na condição climática externa.

Como forma de divulgação do trabalho realizado ao longo do desenvolvimento desta dissertação de mestrado, o presente trabalho obteve aceite na conferência nacional conforme a seguir: 2018 XXXVI Simpósio Brasileiro De Telecomunicações E Processamento De Sinais (SBRT 2018 – Campina Grande - Paraíba), sob o título de **Inclusão do Módulo de Gerenciamento Inteligente na Arquitetura *SmartCoM*, Visando o Gerenciamento Eficiente do Consumo de Energia em Sistemas de Refrigeração em *Smart Home*, baseado em IoT.**

Outros trabalhos também foram publicados com temas aderentes a esta proposta de dissertação sendo:

- OLIVEIRA, EDVAR DA L. ; ALFAIA, RODRIGO D. ; SOUTO, ANDERSON V. F. ; SILVA, MARCELINO S. ; FRANCÊS, CARLOS RENATO L. ; VIJAYKUMAR, N. L. . *SmartCoM: Smart Consumption Management Architecture for Providing a User-Friendly Smart Home based on Metering and Computational Intelligence*. JOURNAL OF MICROWAVES, OPTOELECTRONICS AND ELECTROMAGNETIC APPLICATIONS, v. 16, p. 736-755, 2017;
- ANDRADE, SERGIO HENRIQUE ; DA LUZ OLIVEIRA, EDVAR ; ALFAIA, RODRIGO ; SOUTO, ANDERSON ; FRANCES, CARLOS RENATO LISBOA ; VIJAYKUMAR, NANDAMUDI LANKALAPALLI . Adopting *Fuzzy* technique to save energy in *Smart Home* control systems. In: 2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2017, Riga. 2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2017. p. 1;
- ANDERSON SOUTO, RODRIGO ALFAIA, EDVAR OLIVEIRA, LIVIANE RÊGO , MARCELINO SILVA, CARLOS RENATO FRANCÊS. Estratégia para Otimização de Offloading entre as Redes Móveis VLC e LTE baseada em Q-Learning - VIII CONFERÊNCIA NACIONAL EM COMUNICAÇÕES, REDES E SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO, Bahia, 2018.

7.2 Trabalhos futuros

Como possíveis continuidade deste trabalho, apresenta-se:

- A realização de novos estudos, com a possibilidade de análise dos dados provindos de uma residência com vários condicionadores de ar, possibilitando que modelo possa de uma forma ampla otimizar o consumo de energia de toda a residência;
- A evolução do método de inteligência computacional com a implantação de técnicas como: Rede Neural artificial, Neuro-*Fuzzy* com intuito de um maior e mais abrangente aprendizado dos comportamentos do consumo elétrico residencial e, assim, obter novos resultados a partir de cenários distintos;
- No mesmo princípio, extrapolar para métodos que são destinado à otimização (por exemplo: AG e PSO), de maneira a proporcionar um melhor consumo energético sem perder o conforto térmico;
- Implementar a distribuição de carga a partir do consumo otimizado usado um dos três perfis proposto e implementado pela arquitetura *SmartCoM*;
- Uso de inteligência artificial para determinar padrões e relacionar com a proposta para previsão do consumo de energia residencial de curto prazo.

7.3 Dificuldades Encontradas

O desenvolvimento do trabalho encontrou uma série de dificuldades que perpassaram desde encontrar uma técnica computacional que suprisse as necessidades do Módulo de Gerenciamento Inteligente, até a falta de artigos que corroborassem com uma tomada de decisão para melhorar o consumo energético do condicionador de ar mantendo o conforto térmico no ambiente residencial dentro do padrão estabelecido pelas normas.

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;
- A escolha da inteligência computacional usada neste trabalho definindo;
- A definição das variáveis de entrada no sistema *Fuzzy* e suas relações para determinar o melhor resultado possível. A criação de regras da lógica *Fuzzy*, por não ter conhecimento aprofundado na área meteorológica;

-
- O tratamento realiza na base de dados meteorológica coletada do INMET antes de calcular o índice de calor. E por simular o uso real do condicionador de ar tanto de dia quanto a noite para o modelo proposto e convencional fazendo - se, assim, 4 experimentos;
 - A inexistência de uma base de dados de consumo residencial para a testes do MGI;
 - O estudo mais aprofundado da utilização do Toolbox de inteligência artificial para a aplicação da técnica *Fuzzy* no trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABRAVA. **ABRAVA no DCI - Indústria de ar condicionado espera crescer com demanda residencial - Online**. 2018. Disponível em: <<http://abrava.com.br/?p=12776>>. Acesso em: 25 julho 2018.
- ADHIKARI, R. et al. Simulation study of transactive control strategies for residential hvac systems. In: IEEE. **PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2016 IEEE**. [S.l.], 2016. p. 1–5.
- AL-ALI, A. et al. A smart home energy management system using iot and big data analytics approach. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, IEEE, v. 63, n. 4, p. 426–434, 2017.
- ANEEL. **Bandeiras Tarifárias**. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 23 julho 2018.
- ANEEL. **Tarifa branca é nova opção para os consumidores a partir de 2018**. 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 23 julho 2018.
- ANEEL. **Lei regulamentada pelo Decreto nº 3.867, de 16.07.2001**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/blei20009991.pdf>>. Acesso em: 23 julho 2018.
- ASHRAE. **ASHRAE Standard 62-1989: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. [S.l.]: ASHRAE, 1989.
- ASHRAE, A. Standard 55-2004, thermal environmental conditions for human occupancy, atlanta: american society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers. **Inc., USA**, 2004.
- BRAGER, G. et al. A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field. 1993.
- CAO, S.-G.; REES, N. W.; FENG, G. Analysis and design for a class of complex control systems part i: fuzzy modelling and identification. **Automatica**, Elsevier, v. 33, n. 6, p. 1017–1028, 1997.
- CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios—parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7–26, 2010.
- CARVALHO, A. et al. Inteligência artificial—uma abordagem de aprendizado de máquina. **Rio de Janeiro: LTC**, 2011.
- CHATURVEDI, D. K. **Modeling and simulation of systems using MATLAB and Simulink**. [S.l.]: CRC Press, 2009.
- CHAUDHURI, T. et al. Machine learning based prediction of thermal comfort in buildings of equatorial singapore. In: IEEE. **Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), 2017 IEEE International Conference on**. [S.l.], 2017. p. 72–77.
- CHEN, T. et al. Induction of accurate and interpretable fuzzy rules from preliminary crisp representation. **Knowledge-Based Systems**, Elsevier, v. 146, p. 152–166, 2018.

- CHERRI, A. C.; JUNIOR, D. J. A.; SILVA, I. N. d. Inferência fuzzy para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis de material. **Pesquisa Operacional**, SciELO Brasil, v. 31, n. 1, p. 173–195, 2011.
- CIABATTONI, L. et al. Indoor thermal comfort control through fuzzy logic pmv optimization. In: IEEE. **Neural Networks (IJCNN), 2015 International Joint Conference on**. [S.l.], 2015. p. 1–6.
- COUNCIL, T. Gridwise interoperability context-setting framework. **GridWise Architecture Council and Battelle Memorial Institute**, 2008.
- EPE, E. D. P. E. Anuário estatístico de energia elétrica 2017–ano base 2016. **Rio de Janeiro: EPE**, 2017.
- FANGER, P. O. et al. Thermal comfort. analysis and applications in environmental engineering. **Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.**, Copenhagen: Danish Technical Press., 1970.
- FELIX, V. B. et al. Análise de desconforto térmico local em ambientes cirúrgicos com o uso de manequim, medição de variáveis ambientais e avaliação subjetiva. **Ambiente Construído**, SciELO Brasil, v. 12, n. 1, p. 115–128, 2012.
- GARIBALDI, J. M.; WAGNER, C. L-fuzzy inference. In: IEEE. **Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2014 IEEE International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 583–590.
- GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. The essence of future smart houses: From embedding ict to adapting to sustainability principles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 24, p. 593–607, 2013.
- GONÇALVES, O. A. V.; GUTIERREZ, R. H.; SANTOS, I. J. A. L. dos. Método para identificação dos critérios utilizados na gestão do consumo de energia elétrica: Estudo de caso em um instituto de pesquisa da área nuclear. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 5, n. 7, p. 116–131, 2017.
- GREER, C. et al. **NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 3.0**. [S.l.], 2014.
- GRÜN, R. "apagão cognitivo": A crise energética e sua sociologia. **Dados-Revista de Ciências Sociais**, SciELO Brasil, v. 48, n. 4, 2005.
- HEATING, A. S. of; REFRIGERATING; ENGINEERS, A.-C. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. [S.l.]: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004. v. 55.
- HEATING, R. American Society of; ENGINEERS, A.-C. **ASHRAE Standard: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. [S.l.]: ASHRAE, 2010.
- HUMPHREYS, M. A.; HANCOCK, M. Do people like to feel ‘neutral’?: Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ashrae scale. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 39, n. 7, p. 867–874, 2007.
- IEEE2030. Ieee guide for smart grid interoperability of energy technology and information technology operation with the electric power system (eps), end-use applications, and loads. 2011.

- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 15 maio 2018.
- INMETRO. **Tabelas de consumo eficiência energética**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>>. Acesso em: 23 julho 2018.
- ISO7730, . 7730, 1994, moderate thermal environments—determination of the pmv and ppd indices and specification of the conditions for thermal comfort. **International Standards Organization, Geneva**, 1994.
- ISO7730, I. O. f. S. **Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. [S.l.]: International Organization for Standardization, 2005.
- JANNUZZI, G. D. M. Power sector reforms in brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy policy**, Elsevier, v. 33, n. 13, p. 1753–1762, 2005.
- JAVAID, S. et al. Controlling energy consumption with the world-wide adaptive thermostat using fuzzy inference system in smart grid. In: IEEE. **Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2017 International Conference on**. [S.l.], 2017. p. 66–71.
- JOTSOV, V.; SGUREV, V. Applications in intelligent systems of knowledge discovery methods based on human–machine interaction. **International Journal of Intelligent Systems**, Wiley Online Library, v. 23, n. 5, p. 588–606, 2008.
- KASSAS, M.; AL-TAMIMI, O. Investigation of energy saving in hvac systems: Modeling, simulation, and measurement using fuzzy logic controller. 2018.
- LAMBERTS, R. et al. Conforto e stress térmico. **LabEEE, UFSC**, 2011.
- LEE, C.-C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. i. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics**, IEEE, v. 20, n. 2, p. 404–418, 1990.
- LETTING, L. K.; MUNDA, J. L.; HAMAM, Y. Optimization of fuzzy logic controller design for maximum power point tracking in photovoltaic systems. In: **Soft Computing in Green and Renewable Energy Systems**. [S.l.]: Springer, 2011. p. 233–260.
- LILLY, J. H. **Fuzzy control and identification**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.
- MAMDANI, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In: IET. **Proceedings of the institution of electrical engineers**. [S.l.], 1974. v. 121, n. 12, p. 1585–1588.
- MAMDANI, E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. In: IEEE COMPUTER SOCIETY PRESS. **Proceedings of the sixth international symposium on Multiple-valued logic**. [S.l.], 1976. p. 196–202.
- MEANA-LLORIÁN, D. et al. Iofclime: The fuzzy logic and the internet of things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier, v. 76, p. 275–284, 2017.
- MENDONÇA, C. M. C. d.; ANDRADE, A.; NETO, M. V. d. S. Uso da iot, big data e inteligência artificial nas capacidades dinâmicas e seus microfundamentos. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **In International Conference on Information Systems and Technology Management-CONTECSI-2018**. [S.l.], 2018. p. 4839–4861.

- MME. **Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética**. 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cgiee>>. Acesso em: 23 julho 2018.
- NAAZ, S.; ALAM, A.; BISWAS, R. Effect of different defuzzification methods in a fuzzy based load balancing application. **International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)**, Citeseer, v. 8, n. 5, p. 261, 2011.
- NBR6401, A. 6401. instalações de centrais de ar-condicionado para conforto–parâmetros básicos de projeto. **Rio de Janeiro: ABNT**, 1980.
- NOAA, U. National oceanic and atmospheric administration. **Department of Commerce**, 1995.
- NOGUEIRA, L. A. H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 91–105, 2007.
- NOMURA, H.; HAYASHI, I.; WAKAMI, N. A learning method of fuzzy inference rules by descent method. In: IEEE. **Fuzzy Systems, 1992., IEEE International Conference on**. [S.l.], 1992. p. 203–210.
- OLIVEIRA, E. d. L. et al. Smartcom: Smart consumption management architecture for providing a user-friendly smart home based on metering and computational intelligence. **Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications**, SciELO Brasil, v. 16, n. 3, p. 736–755, 2017.
- OLIVEIRA, T. C. d. et al. Atividade física e sedentarismo em escolares da rede pública e privada de ensino em são luís. **Revista de saude publica**, SciELO Public Health, v. 44, p. 996–1004, 2010.
- PATEL, A.; CHAMPANERIA, T. A. Fuzzy logic based algorithm for context awareness in iot for smart home environment. In: IEEE. **Region 10 Conference (TENCON), 2016 IEEE**. [S.l.], 2016. p. 1057–1060.
- PATEL, A. V.; MOHAN, B. Some numerical aspects of center of area defuzzification method. **Fuzzy Sets and Systems**, Elsevier, v. 132, n. 3, p. 401–409, 2002.
- PEREIRA, C. D.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no brasil. **Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), Florianópolis**, 2013.
- PERES, L. M. et al. Fuzzy approach for classification of pork into quality grades: coping with unclassifiable samples. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 150, p. 455–464, 2018.
- PROCEL. **Avaliação dos Resultados do Procel 2005**. 2006. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/cedoc/blei20009991.pdf](http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={EC4300F8-43FE-4406-8281-08DDF478F35B}>>. Acesso em: 23 maio 2018.</p><p>PROCEL. Lei de Eficiência Energética. 2018. Disponível em: <. Acesso em: 23 julho 2018.
- PROCEL. **Selo Procel de Economia de Energia**. 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>>. Acesso em: 23 julho 2018.

- RAVINDRA, K.; RAO, M. N.; CHAITANYA, V. Renewable energy source allocation of air-conditioner using fuzzy logic. In: IEEE. **Intelligent Computing and Control (I2C2), 2017 International Conference on**. [S.l.], 2017. p. 1–5.
- RÊGO, L. P. et al. Estratégia para predição de consumo de energia elétrica de curto prazo: uma abordagem baseada em densificação com mean shift para tratamento de dias especiais. Universidade Federal do Pará, 2016.
- ROTHFUSZ, L. P.; HEADQUARTERS, N. S. R. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). **Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology**, v. 9023, 1990.
- RUAS, A. C. et al. Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. [sn], 1999.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. [S.l.]: Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.
- SAHA, S. et al. Designing of a air-conditioning system using fuzzy logic with advantage of energy saving. In: IEEE. **Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2014 International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 1–6.
- SETS, F.; ZADEH, L. Inform. **Control**, v. 8, p. 338–353, 1965.
- SOUZA, L. F. S. d. et al. Correção dos erros de previsão de carga elétrica de curto prazo decorrentes de variações de temperatura na ilha de santa catarina utilizando rede neural. 2013.
- SOUZA, V. C.; VIDAL, J. F. A prototype development for energy efficiency of traditional air conditioners using mobile application with intelligent control of hysteresis. In: IEEE. **2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)**. [S.l.], 2018.
- SUGENO, M. On stability of fuzzy systems expressed by fuzzy rules with singleton consequents. **IEEE Transactions on Fuzzy systems**, IEEE, v. 7, n. 2, p. 201–224, 1999.
- TAKAGI, T.; SUGENO, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, IEEE, n. 1, p. 116–132, 1985.
- TANAKA, K.; WANG, H. O. **Fuzzy control systems design and analysis: a linear matrix inequality approach**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.
- VIRANT, J. **Design Considerations of Time in Fuzzy Systems**. 2000.
- WAHRLICH, V.; ANJOS, L. A. d. Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura. **Cadernos de Saúde Pública, SciELO Public Health**, v. 17, p. 801–817, 2001.
- WU, S. et al. Survey on prediction algorithms in smart homes. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 4, n. 3, p. 636–644, 2017.
- YAN, H.; NIU, J.; DENG, S. A thermal comfort based controller for a direct expansion air conditioning system. **Energy Procedia**, Elsevier, v. 142, p. 1817–1822, 2017.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Inf. Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.