

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS RODRIGUES VIZZOTTO

**ANÁLISE DO USO DE ESTRATÉGIAS PARA A MELHORIA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM SISTEMAS
DE AUTOMAÇÃO PREDIAL-RESIDENCIAL**

Porto Alegre

2015

MARCOS RODRIGUES VIZZOTTO

**ANÁLISE DO USO DE ESTRATÉGIAS PARA A MELHORIA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM SISTEMAS
DE AUTOMAÇÃO PREDIAL-RESIDENCIAL**

Dissertação de mestrado
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Mestre em Engenharia
Elétrica.

Área de concentração: Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr.-Ing. Carlos Eduardo Pereira

Porto Alegre
2015

MARCOS RODRIGUES VIZZOTTO

**ANÁLISE DO USO DE ESTRATÉGIAS PARA A MELHORIA DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA E DO CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM SISTEMAS
DE AUTOMAÇÃO PREDIAL-RESIDENCIAL**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr.-Ing. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Stuttgart – Stuttgart, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Arturo Suman Bretas, UFRGS

Doutor pela VIRGINIA TECH – Blacksburgs, Estados Unidos

Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, Brasil

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Luís Fernando Alves Pereira

Porto Alegre, setembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Meu sincero agradecimento a todos aqueles que de perto ou de longe contribuíram para que esse desafio pudesse ser concluído com êxito.

Meu agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr.-Ing. Carlos Eduardo Pereira pelos desafios, oportunidades e contribuições propiciados nesse processo de aprendizado e a minha esposa Maria Cecilia pela parceria incondicional ao longo desse caminho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma proposta para melhoria da eficiência energética e do conforto térmico em edificações com sistemas de automação predial-residencial. O desenvolvimento da proposta do trabalho foi dividido em três etapas: na primeira etapa foi realizada uma análise inicial do desempenho de uma sala de aula automatizada, com relação ao consumo de energia elétrica do sistema de climatização e o conforto térmico dos usuários, em 4 cenários típicos de uso da sala. Esta análise indicou claras possibilidades de melhorias no sistema de automação, de forma a aumentar o conforto térmico e reduzir-se o consumo de energia. Numa segunda etapa da proposta foi aplicada uma estratégia de alteração dos horários de funcionamento do sistema de climatização com o objetivo de melhorar o conforto térmico dos usuários. Para validação das estratégias propostas foi desenvolvido, utilizando-se o software *EnergyPlus*, um modelo computacional para simulação da variação de temperatura da sala. Com a análise comparativa de simulações observou-se que alterando o horário de funcionamento do sistema de climatização foi possível manter a sala 100% do tempo na faixa de conforto térmico durante as aulas, porém com um aumento no consumo de energia. Em função disto, numa terceira etapa da proposta foi aplicada uma estratégia para ajustar o valor de *setpoint* de resfriamento do sistema de climatização integrado ao sistema de automação da sala com o objetivo de melhorar a eficiência energética. O algoritmo foi inicialmente desenvolvido com o software *Matlab* e foi co-simulado com o modelo computacional utilizando a ferramenta MLE+. Com a análise comparativa de simulações e co-simulações observou-se que houve uma redução no consumo de energia de cerca de 17% na sala numa comparação com os cenários validados na primeira etapa. Os conceitos desenvolvidos foram então aplicados no projeto de uma nova edificação, no qual uma redução no consumo de energia em torno de 6%.

Palavras-chaves: Automação Residencial-Predial, Eficiência Energética, Conforto Térmico.

ABSTRACT

The present paper presents a proposal of improvement of energy efficiency and thermal comfort in buildings with home and building automation. The development of the proposal of the paper was divided into three stages: At the first stage it was realized an initial analysis of the performance of an automated room in relation to the consumption of electrical energy by the air conditioning system and the thermal comfort of the users in four typical scenarios of the room use. This analysis indicated clear possibilities of improvement on the automation system in terms of improving thermal comfort and decreasing energy consumption. At the second stage of the proposal it was applied a strategy of alteration of the operation times of the air conditioning system with the objective of improving the thermal comfort of the users. To validate the strategies proposed it was developed, using the EnergyPlus software, a computational model to simulate the variations in temperature in the room. With the comparative analysis of the simulations it was observed that altering the operation times of the air conditioning system it was possible to maintain the room in the thermal comfort zone 100% of the time, however, with an increase in energy consumption. Therefore, at the third stage of the proposal it was applied a strategy to adjust the cooling set point of the air conditioning system integrated to the automation system with the objective of improving energy efficiency. The algorithm was developed initially with the Matlab software and it was co-simulated with the computational model utilizing the MLE+ tool. With the comparative analysis of simulations and co-simulations it was observed that there was a reduction of around 17% in the consumption of energy in the room compared with the scenarios validated at the first stage. The concepts developed were then applied on the project of a new building, in which the reduction of energy consumption was around 6%.

Keywords: Home-Building Automation, Energy Efficiency, Thermal Comfort.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	MOTIVAÇÃO	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	22
2.2	<i>SMART GRID</i>	23
2.3	EDIFÍCIOS INTELIGENTES	25
2.4	CONFORTO TÉRMICO	27
2.4.1	<i>Zona de Conforto</i>	27
3	ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	30
3.1	SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	30
3.2	<i>RETROFITTING</i>	32
3.3	GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	34
3.4	AUTOMAÇÃO COM DISPOSITIVOS MÓVEIS	36
3.5	GESTÃO DE ENERGIA ORIENTADA POR OCUPAÇÃO	38
3.6	OUTROS TRABALHOS RELACIONADOS	40
3.7	DISCUSSÃO	43
4	PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO	45
4.1	METODOLOGIA	45
4.1.1	<i>Ambiente de estudo de caso</i>	48
4.2	ANÁLISE DO DESEMPENHO DO AMBIENTE ANALISADO	50
4.3	ESTRATÉGIA ADOTADA PARA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS	58
4.4	ESTRATÉGIA ADOTADA PARA MELHORIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	59
4.4.1	<i>Algoritmo para Definição do Setpoint de Resfriamento</i>	60
5	IMPLEMENTAÇÃO	64
5.1	AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DE MEDIÇÕES DO AMBIENTE ANALISADO	64
5.1.1	<i>Comunicação via Http para Aquisição de Medições de Temperaturas</i>	67
5.2	MODELO COMPUTACIONAL DO AMBIENTE ANALISADO	67
5.2.1	<i>Características e Configurações da Edificação do Ambiente Analisado</i>	69
5.2.2	<i>Co-simulação do Modelo Computacional e a Estratégia Proposta</i>	72
5.3	VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL DO AMBIENTE ANALISADO	73
5.3.1	<i>Resultados</i>	73
5.3.2	<i>Análise dos Resultados</i>	76
6	VALIDAÇÃO VIA SIMULAÇÃO	78
6.1	VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS	78
6.1.1	<i>Resultados</i>	78
6.1.2	<i>Análise dos Resultados</i>	82
6.2	VALIDAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	83
6.2.1	<i>Análise dos Resultados</i>	87
7	VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL NA SALA REAL	88
7.1	PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	88
7.1.1	<i>Comando de envio de alteração de setpoint via Http</i>	88
7.1.2	<i>Resultados</i>	89
7.1.3	<i>Análise dos Resultados</i>	92
7.2	MODELO COMPUTACIONAL DA EDIFICAÇÃO DO NERCI	92
7.3	ANÁLISE VIA SIMULAÇÃO NA FUTURA EDIFICAÇÃO DO NERCI	94
7.3.1	<i>Cenários</i>	94
7.3.2	<i>Resultados</i>	94

7.3.3 <i>Análise dos Resultados</i>	97
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	98
8.1 CONCLUSÕES	98
8.2 TRABALHOS FUTUROS	100
REFERÊNCIAS	101
APÊNDICE A – SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO	106
APÊNDICE B – <i>SCRIPT</i> DA ESTRATÉGIA PROPOSTA	112
APÊNDICE C – SOFTWARE <i>DE SIMULAÇÃO ENERGYPLUS</i>	115
APÊNDICE D – FERRAMENTA <i>MLE+</i> DO SOFTWARE <i>MATLAB</i>	117
APÊNDICE E – SISTEMAS EMBARCADOS UTILIZADOS	119
APÊNDICE F – CÓDIGO DE SOLICITAÇÕES AO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	122
APÊNDICE G – SOFTWARE <i>SKETCHUP</i>	127
APÊNDICE H – DETALHAMENTO DA EDIFICAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO	129
APÊNDICE I – MATERIAIS DO MODELO DO AMBIENTE ANALISADO	130
APÊNDICE J – CÓDIGO DO AJUSTE DE SETPOINT DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	131
APÊNDICE K – DETALHAMENTO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI	139
APÊNDICE L – CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO DO NERCI	140
APÊNDICE M – CONSTRUÇÕES DO MODELO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI	141
APÊNDICE N – MATERIAIS DO MODELO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI	143

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CONSUMOS SETORIAIS DE ENERGIA ELÉTRICA REFERENTE A 2013 NO BRASIL.....	17
FIGURA 2 – CONSUMO DE ELETRODOMÉSTICOS NAS RESIDÊNCIAS BRASILEIRAS EM 2011.	18
FIGURA 3 – PRÉDIO UTILIZADO PELO PPGEE.	48
FIGURA 4 – PLANTA BAIXA DA SALA DE AULA AMBIENTE DE ESTUDO DE CASO.	49
FIGURA 5 – SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO E CONTROLE DA SALA 301A DO PRÉDIO 11106 DA UFRGS.	50
FIGURA 6 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL NO CENÁRIO 1.....	53
FIGURA 7 – TEMPERATURA INTERNA NO PERÍODO DE AULA NO CENÁRIO 1.....	54
FIGURA 8 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL NO CENÁRIO 2.....	54
FIGURA 9 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL NO CENÁRIO 3.....	55
FIGURA 10 – TEMPERATURA INTERNA NO PERÍODO DE AULA NO CENÁRIO 3.....	56
FIGURA 11 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL NO CENÁRIO 4.....	56
FIGURA 12 – TEMPERATURA INTERNA EM DOIS DIA DE SIMULAÇÃO.	59
FIGURA 13 – ESTRATÉGIA PARA VARIAÇÃO DO <i>SETPOINT</i> DE RESFRIAMENTO.	60
FIGURA 14 – EXEMPLO DE COMPORTAMENTO DA ESTRATÉGIA PROPOSTA.	63
FIGURA 15 – ANALISADOR DE ENERGIA RE4000.	64
FIGURA 16 – LIGAÇÃO DO ANALISADOR DE ENERGIA NA CDI DO AMBIENTE ANALISADO.....	65
FIGURA 17 – ARQUITETURA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO COM O SISTEMA PROPOSTO.	66
FIGURA 18 – MODELO DA EDIFICAÇÃO DO AMBIENTE INTELIGENTE ANALISADO.	68
FIGURA 19 – ESTRUTURA DA FERRAMENTA <i>MLE+</i> COM <i>ENERGYPLUS</i> E <i>MATLAB</i>	72
FIGURA 20 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO NO CENÁRIO 1.....	74
FIGURA 21 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO NO CENÁRIO 2.....	74
FIGURA 22 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO NO CENÁRIO 3.....	75
FIGURA 23 – VALORES OBTIDOS NO TESTE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO NO CENÁRIO 4.....	75

FIGURA 24 – CONSUMO DE ENERGIA DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DO AMBIENTE ANALISADO.	76
FIGURA 25 – DIFERENÇAS ENTRE AS TEMPERATURAS INTERNAS OBTIDAS NA SIMULAÇÃO E EXPERIMENTAL.....	76
FIGURA 26 – DIFERENÇA NO CONSUMO DE ENERGIA DO TESTE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO.....	77
FIGURA 27 – TEMPERATURA INTERNA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1.	79
FIGURA 28 – TEMPERATURA INTERNA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1-1.	80
FIGURA 29 – TEMPERATURA INTERNA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1-2.	81
FIGURA 30 – TEMPERATURA INTERNA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1-3.....	81
FIGURA 31 – EXEMPLO DE COMPORTAMENTO DA ESTRATÉGIA PROPOSTA COM <i>MENTR= MENTE E MAITR=MAITE</i>	84
FIGURA 32 – TEMPERATURA INTERNA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1-4.	85
FIGURA 33 – ARQUITETURA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO COM A ESTRATÉGIA PROPOSTA.	88
FIGURA 34 – TEMPERATURAS INTERNAS E EXTERNAS E <i>SETPOINT</i> EM UMA PRIMEIRA MEDIÇÃO.	90
FIGURA 35 – TEMPERATURAS INTERNAS E EXTERNAS E <i>SETPOINT</i> EM UMA SEGUNDA MEDIÇÃO.	91
FIGURA 36 – TEMPERATURAS INTERNAS E EXTERNAS E <i>SETPOINT</i> EM UMA TERCEIRA MEDIÇÃO.	91
FIGURA 37 – MODELO COMPUTACIONAL DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	93
FIGURA 38 – CONSUMO MENSAL DO CENÁRIO BASE DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	95
FIGURA 39 – CONSUMO DE ENERGIA ANUAL DO CENÁRIO BASE DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	95
FIGURA 40 – CONSUMO MENSAL DO CENÁRIO PROPOSTA DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.	96
FIGURA 41 – CONSUMO DE ENERGIA ANUAL DO CENÁRIO PROPOSTA DO NERCI (kW·h).....	96
FIGURA 42 – CONSUMO DE ENERGIA NOS DOIS CENÁRIOS SIMULADOS (kW·h).....	97
FIGURA 43 – CONTROLADOR <i>SYSTEMBOX</i>	106
FIGURA 44 – ARQUITETURA DO SISTEMA <i>HOMESYSTEMS</i>	107
FIGURA 45 – TELA DE CONFIGURAÇÃO DOS CENÁRIOS DO <i>SCAPEWORKS</i>	109
FIGURA 46 – INTERFACE DO <i>EP-LAUNCH</i>	115
FIGURA 47 – INTERFACE DO EDITOR DE ARQUIVO IDF.	116
FIGURA 48 – <i>FRONT-END</i> COM FLUXO DE TRABALHO DO <i>MLE+</i>	117
FIGURA 49 – ESTRUTURA DO <i>MLE+</i>	118
FIGURA 50 – PLACA <i>ARDUINO MEGA 2560</i>	119
FIGURA 51 – <i>ARDUINO ETHERNET SHIELD</i>	120
FIGURA 52 – MÓDULO <i>RTC</i>	120

FIGURA 53 – <i>SHIELD TFT SCREEN</i>	121
FIGURA 54 – INTERFACE DO <i>SKETCHUP</i>	127
FIGURA 55 – ARQUITETURA DO SOFTWARE <i>ENERGYPLUS</i>	127

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MUNDO POR REGIÃO (TW'H).....	15
TABELA 2 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MUNDO – 10 MAIORES PAÍSES EM 2010 (TW'H).....	16
TABELA 3 – EVOLUÇÃO DOS CONSUMOS SETORIAIS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL (TW'H).....	17
TABELA 4 – COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS TESTADOS EXPERIMENTALMENTE.....	57
TABELA 5 – ZONAS DA EDIFICAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO.....	69
TABELA 6 – CONFIGURAÇÃO DOS HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DA EDIFICAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO. ...	70
TABELA 7 – CONSTRUÇÕES DO MODELO DA EDIFICAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO.....	71
TABELA 8 – COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS 1, 1-1, 1-2 E 1-3.....	82
TABELA 9 – COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS 1, 1-3 E 1-4.....	85
TABELA 10 – ECONOMIA NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ANUAL EM R\$.	86
TABELA 11 – IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO ANUAL EM R\$.	97
TABELA 12 – CARACTERÍSTICAS DO PRÉDIO DO AMBIENTE ANALISADO.....	129
TABELA 13 – DETALHES DE DIMENSIONAMENTOS DO PRÉDIO DO AMBIENTE ANALISADO.....	129
TABELA 14 – MATERIAIS DO MODELO DO AMBIENTE ANALISADO.....	130
TABELA 15 – DETALHAMENTO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	139
TABELA 16 – CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	140
TABELA 17 – CONSTRUÇÕES DO MODELO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	141
TABELA 18 – MATERIAIS DO MODELO DA EDIFICAÇÃO DO NERCI.....	143

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

BACnet: *Building Automation and Control Network*

CAD: *Computer-Aided Design* (Desenho Auxiliado por Computador)

CDI: Caixa de Distribuição Interna

DSM: *Demand-side Management* (Gerenciamento pelo Lado da Demanda)

EIBG: *European Intelligent Building Group*

EUA: Estados Unidos da América

GCAR: Grupo de Controle, Automação e Robótica

HS-NET: Protocolo *Homesystems*-NET

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*

HVAC: *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (Sistema de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar)

I²C: *Inter-Integrated Circuit*

IBI: *Intelligent Building Institute*

ICSP: *In Circuit Serial Programming*

IDF: *Input Data File* (Arquivo de Entrada de Dados)

IHM: Interface Homem Máquina

IP: *Internet Protocol*

LCD: *Liquid Crystal Display* (Display de Cristal Líquido)

LED: *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

NERCI: Núcleo de Excelência de Redes de Comunicações Industriais

PMV: *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Previsto)

PPGEE: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PWM: *Pulse-Width Modulation*

RTC: Módulo *Real Time Clock*

SHEMS: *Smart Home Energy Management System* (Sistema de Gerenciamento de Energia em Casa Inteligente)

TCP: *Transmission Control Protocol*

UART: *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*

UDP: *User Datagram Protocol*

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

URE: Utilização Racional de Energia

USB: *Universal Serial Bus*

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contempla a contextualização do tema, a motivação para realização do estudo, objetivos e a organização do texto.

1.1 Contextualização

O consumo de energia elétrica tornou-se motivo de preocupação nas últimas décadas, pois tem um papel de grande importância no desenvolvimento mundial (LAMBERTS, 2010). Conforme (GELLER, 2003) o consumo mundial de energia aumentou dez vezes desde 1900, e a maior parte desta energia é proveniente de fontes não renováveis. A Tabela 1 mostra o aumento no consumo de energia elétrica no mundo por região no período de 2007 até 2011, onde é possível observar que o consumo de energia continua aumentando. De 2010 para 2011 a América do Sul e Central tiveram o segundo maior aumento no consumo de energia elétrica, um aumento de 5,2% e uma participação no aumento mundial de 5,1%.

Tabela 1 – Consumo de energia elétrica no mundo por região (TW'h).

	2007	2008	2009	2010	2011	$\Delta\%$ (2011/2010)	Part. % (2011)	
Mundo	17.149,4	17.410,0	17.316,8	18.501,4	19.298,5	4,3	100,0	World
Ásia & Oceania	6.012,5	6.196,1	6.458,9	7.059,9	7.749,4	9,8	40,2	Asia & Oceania
América do Norte	4.629,9	4.601,0	4.422,1	4.634,6	4.667,5	0,7	24,2	North America
Europa	3.333,7	3.363,5	3.204,2	3.350,9	3.307,2	-1,3	17,1	Europe
Eurásia	1.224,1	1.243,5	1.179,9	1.247,9	1.270,7	1,8	6,6	Eurasia
América do Sul e Central	842,2	868,7	873,4	928,4	976,7	5,2	5,1	South & Central America
Oriente Médio	587,5	613,4	653,0	718,2	746,5	3,9	3,9	Middle East
África	519,5	523,8	525,4	561,6	580,5	3,4	3,0	Africa
Antártida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Antarctica

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014).

A Tabela 2 mostra o consumo de energia elétrica a nível mundial por país no período de 2007 até 2011, o Brasil está entre os 10 maiores países consumidores de Energia Elétrica, podendo ser observado o aumento no consumo de energia elétrica a cada ano. Entre 2010 e

2011 houve um aumento no uso de energia de 3,5% e um aumento de 2,5% em relação à participação mundial.

Tabela 2 – Consumo de energia elétrica no mundo – 10 maiores países em 2010 (TW·h).

	2007	2008	2009	2010	2011	Δ% (2011/2010)	Part. % (2011)	
Mundo	17.149,4	17.410,0	17.316,8	18.501,4	19.298,5	4,3	100,0	World
China	2.870,8	3.054,1	3.270,3	3.634,5	4.207,7	15,8	21,8	China
Estados Unidos	3.890,2	3.865,2	3.723,8	3.886,4	3.882,6	-0,1	20,1	United States
Japão	1.027,2	961,9	935,4	995,2	983,1	-1,2	5,1	Japan
Rússia	840,7	855,6	816,1	858,5	869,3	1,3	4,5	Russia
Índia	589,2	622,0	651,8	698,9	757,9	8,4	3,9	India
Canadá	536,0	528,1	492,9	534,8	551,6	3,1	2,9	Canada
Alemanha	550,6	548,0	514,5	544,3	537,9	-1,2	2,8	Germany
Brasil	412,1	428,2	426,0	464,7	481,0	3,5	2,5	Brazil
Coreia do Sul	387,0	403,0	409,2	450,2	472,2	4,9	2,4	Korea, South
França	450,1	462,5	446,7	474,0	447,1	-5,7	2,3	France
Outros	5.595,5	5.681,4	5.629,9	5.959,8	6.108,2	2,5	31,7	Other

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014).

Conforme (GELLER, 2003) o uso total de energia no Brasil cresceu cerca de 250% no período de 1975 a 2000, aumento provocado principalmente pela rápida industrialização e pelos crescentes serviços energéticos residenciais e comerciais. A Tabela 3 mostra o aumento continuado no consumo de energia elétrica no Brasil, em todos os setores, no período de 2009 a 2013. Pode-se observar que o setor residencial teve uma participação de 27% no aumento do consumo de energia do Brasil de 2012 para 2013, sendo o segundo maior consumidor de energia.

Tabela 3 – Evolução dos consumos setoriais de energia elétrica no Brasil (TWh).

	2009	2010	2011	2012	2013	$\Delta\%$ (2013/2012)	Part. % (2013)
Brasil	384.306	415.683	433.034	448.171	463.335	3,4	100,0
Residencial	100.776	107.215	111.971	117.646	124.896	6,2	27,0
Industrial	161.799	179.478	183.576	183.475	184.609	0,6	39,8
Comercial	65.255	69.170	73.482	79.226	83.695	5,6	18,1
Rural	17.304	18.906	21.027	22.952	23.797	3,7	5,1
Poder público	12.176	12.817	13.222	14.077	14.608	3,8	3,2
Iluminação pública	11.782	12.051	12.478	12.916	13.512	4,6	2,9
Serviço público	12.898	13.589	13.983	14.525	14.847	2,2	3,2
Próprio	2.319	2.456	3.295	3.354	3.372	0,5	0,7

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014).

Os dados demonstrados na Figura 1 evidenciam que 48,3% do consumo de energia elétrica no país ocorrem em edificações (Residencial, Comercial e Poder Público). A energia utilizada nas edificações atendem equipamentos que incluem dentre outros sistemas de iluminação, resfriamento e aquecimento, e eletrodomésticos.

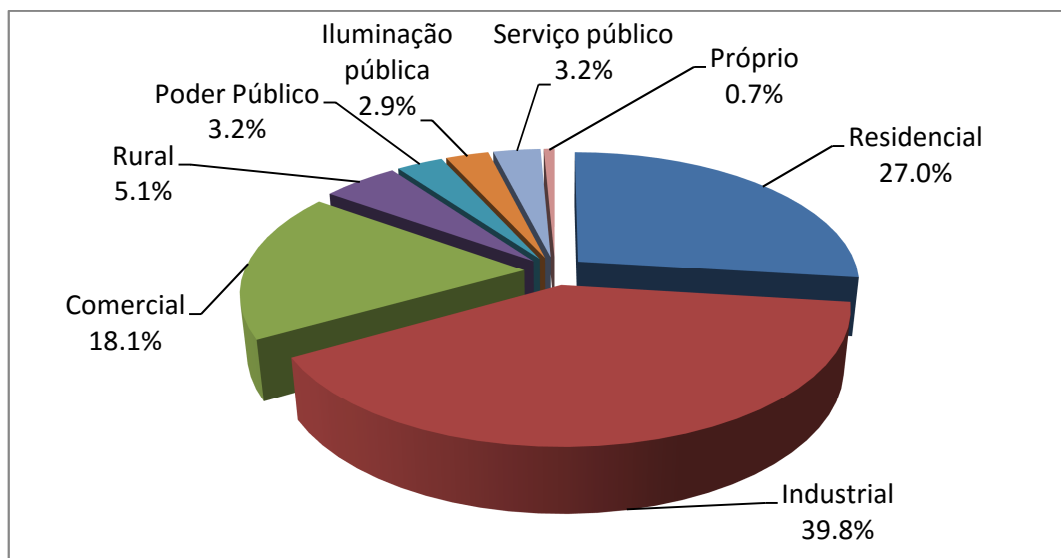


Figura 1 – Consumos setoriais de energia elétrica referente a 2013 no Brasil.

Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2014).

Nas edificações residenciais brasileiras, o consumo de energia elétrica por eletrodoméstico é dividida conforme demonstrado na Figura 2, onde é possível identificar que

o congelador, o chuveiro elétrico, e o condicionador de ar são os maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica.

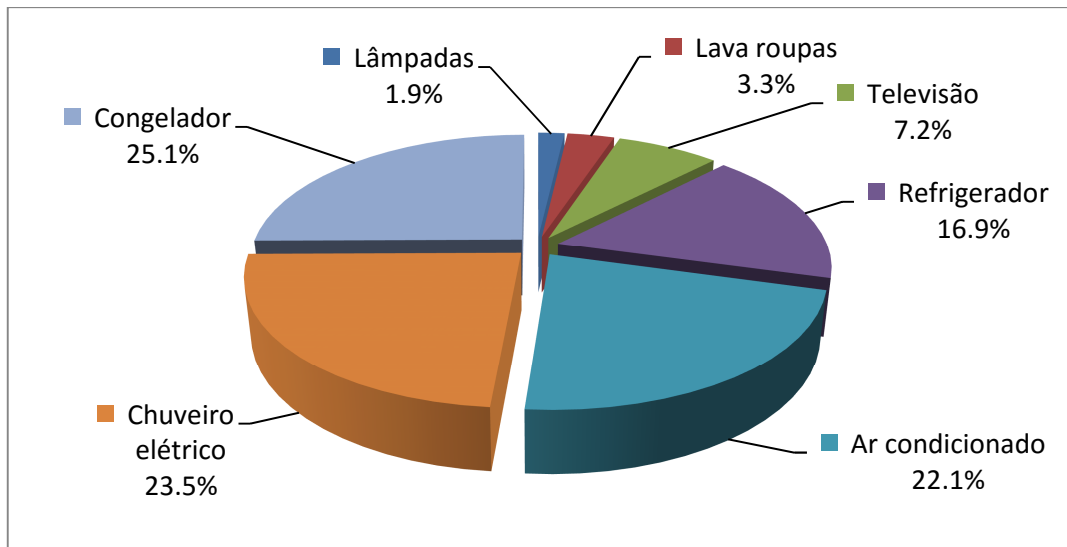


Figura 2 – Consumo de eletrodomésticos nas residências brasileiras em 2011.
Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2012).

O Brasil teve em 2001 a sua principal crise energética, causada pela redução de investimentos na área de geração de energia e linhas de transmissão, aumento considerável da demanda, que chegou a 4,5% ao ano, e acrescido a isso, neste ano de 2001 a escassez das chuvas em todo o país, principalmente nas cabeceiras dos rios onde estão os principais reservatórios das hidrelétricas brasileiras (SABIÁ, 2005). Conforme (LAMBERTS, 2010), a preocupação com a crise energética colocou em foco a busca por eficiência energética não somente pelas questões econômicas, mas também pela necessidade de qualidade do ambiente para o usuário e a redução de impactos ambientais. Diante disso, o autor afirma que algumas medidas deveriam ser incentivadas a fim de conscientizar a população sobre os benefícios da utilização eficiente dos recursos energéticos, dentre elas destaca a busca por eficiência energética nas edificações, a introdução de novas tecnologias e a mudança de hábitos de consumo, incentivadas por programas e políticas de conservação e uso racional de energia como estratégias importantes.

Diante do exposto, e considerando que o controle da temperatura dos ambientes representa uma importante parcela do consumo de energia, a introdução de novas tecnologias

apresenta-se como meio de manter o conforto térmico aos usuários com um custo reduzido no consumo de energia elétrica.

Segundo (FROTA; SCHIFFER, 1988) quando as condições térmicas causam aos usuários de um ambiente sensações de frio ou de calor, isto significa que este está perdendo mais calor ou menos calor que o necessário para a manutenção da homeotermia, necessitando de um esforço adicional que sempre representa sobrecarga, com queda do rendimento no trabalho, até o limite, sob condições de rigor excepcionais, perda total de capacidade para realização de trabalho e/ou problemas de saúde.

Conforme (FANGER, 1970) o motivo de ter o conforto térmico consiste no "desejo do homem de sentir-se termicamente confortável", e ainda o conforto térmico se justifica no ponto de vista da "performance humana".

Foram realizados estudos de laboratório que analisaram a produtividade, fadiga e estado psicológico (vigor, concentração, ativação e bom humor) em um grupo de pessoas em uma câmara de testes controladas em diferentes temperaturas e umidade relativa constante, verificou-se que a produtividade, o vigor, a concentração e ativação e o bom humor, mudam consideravelmente com a mudança de temperatura, a partir dos resultados as temperaturas mais baixas aumentam a produtividade e diminuem a fadiga (NELSON et al, 1987).

A partir deste contexto surge a motivação, descrita no próximo item, para desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

1.2 Motivação

A introdução de novas tecnologias vem sendo adotada como estratégia na busca de uma melhor eficiência energética, maior qualidade do ambiente para os usuários e redução de impactos ambientais. São exemplos desta estratégia, a instalação de sistemas de automação e a integração destes com outros sistemas instalados nas edificações. Em relação à qualidade do ambiente, observa-se que pesquisas relacionadas com o conforto térmico de usuários mostram

que temperaturas fora de uma zona de conforto podem afetar, por exemplo, o humor, o rendimento no trabalho, a saúde dos usuários. Sabendo que na maioria dos casos o controle da temperatura do ambiente é realizado por meio de equipamentos que possuem parcela significativa no consumo de energia das edificações, surge a motivação de desenvolver pesquisas que contribuam com propostas e discussões de soluções para uma melhor eficiência energética e ainda manter ou melhorar o conforto térmico dos usuários. Para o desenvolvimento desta pesquisa adotou-se como escopo sistemas de automação inteligentes em edificações que possuam outros sistemas integrados, considerando que estudos em tecnologias que possibilitem melhorar o uso racional de energia em sistemas automatizados e o conforto dos usuários podem ser melhor explorados.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar a análise do uso de estratégias de automação que possibilitem a redução no consumo de energia sem prejudicar o conforto térmico dos usuários de um ambiente climatizado e automatizado. Para alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- analisar potenciais de melhoria de eficiência energética e conforto térmico em ambiente climatizado e automatizado;
- analisar o uso de estratégias que reduzam o consumo de energia de um ambiente climatizado e automatizado e que mantenham ou melhorem o conforto térmico dos usuários.

1.4 Organização do Texto

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, iniciando pela introdução, com o objetivo de contextualizar o tema de pesquisa, apresentar o objetivo, a motivação e estrutura do trabalho. No segundo capítulo apresenta-se a base teórica, contemplando os temas: Eficiência Energética, *Smart Grid*, Edifícios Inteligentes e Conforto térmico. No capítulo 3

apresenta-se a análise do estado da arte. No quarto capítulo, expõe-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento da proposta e o ambiente de estudo de caso. Além disso, será apresentada a proposta da dissertação dividida em três etapas, onde a primeira etapa tem por objetivo realizar a análise do desempenho inicial do ambiente estudo de caso, a segunda etapa tem por objetivo a melhora no conforto térmico dos usuários e a terceira etapa tem por objetivo a melhora na eficiência energética. No quinto capítulo expõe-se a implementação onde inicialmente é apresentado o sistema de aquisição e armazenamento das medições do ambiente analisado. Além disso, será apresentado o modelo computacional do ambiente de estudo de caso e por fim a validação do modelo computacional. No capítulo 6 será apresentada a validação da estratégia utilizada para manutenção do conforto térmico e na sequencia expõe-se a validação da estratégia utilizada para melhora na eficiência energética. No capítulo 7 expõe-se a análise experimental da proposta aplicada ao ambiente do estudo de caso e aplicada em um modelo computacional de uma edificação com dois pavimentos. No capítulo 8 formulam-se as conclusões e contribuições para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico da dissertação e uma breve descrição dos principais conceitos utilizados. O referencial teórico contempla os temas de Eficiência Energética, *Smart Grid*, Edifícios Inteligentes e Conforto Térmico.

2.1 Eficiência energética

Para (BERKELEY LAB, 2015), eficiência energética é a utilização de menos energia para fornecer o mesmo serviço. Complementarmente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2015), afirma que algo é mais eficiente energeticamente, se oferecer mais serviços com a mesma energia consumida, ou ainda os mesmos serviços com menos consumo de energia. Para o autor a eficiência energética é uma forma de gerir e restringir o aumento no consumo de energia.

A utilização racional de energia (URE) pode conduzir a reduções substanciais do consumo de energia e das emissões de poluentes associadas à sua conversão (BCSD PORTUGAL, 2005). Em muitas situações a URE pode também conduzir a uma elevada economia nos custos do ciclo de vida dos equipamentos utilizadores de energia (custo inicial mais custo de funcionamento ao longo da vida útil). Embora geralmente sejam mais dispendiosos, em termos de custo inicial, os equipamentos mais eficientes consomem menos energia (BCSD PORTUGAL, 2005).

Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas, que reduza os custos com energia e/ou aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração, que podem ser resumidas a seguir (RIBEIRO, 2005):

- **Planejamento integrado dos recursos** – são práticas que subsidiam os planejadores e reguladores de energia a avaliar os custos e benefícios sob as óticas da oferta (geração) e demanda (consumidor final), de forma a que a energia utilizada pelo sistema seja a de menor custo financeiro e ambiental;

- **Eficiência na Geração, Transmissão e Distribuição** – são práticas e tecnologias que estimulam a eficiência em toda a eletricidade que é gerada e entregue aos consumidores finais. Esta categoria inclui co-geração e turbinas de queima de gás natural, além de outras tecnologias capazes de disponibilizar maior quantidade de energia elétrica em plantas já existentes.
- **Gerenciamento pelo lado da Demanda** – são práticas e políticas adotadas pelos planejadores de energia, que encorajam os consumidores a usar a energia de uma forma mais eficiente, além de permitir a administração da curva de carga das concessionárias; e
- **Eficiência no Uso Final** – são tecnologias e práticas que estimulam a eficiência energética no nível do consumidor final. Essa categoria inclui praticamente todos os empregos de eletricidade e tecnologias caloríficas existentes, tais como motores, iluminação, aquecimento, ventilação, condicionamento de ar, entre outros. Também inclui tecnologias que propiciem a conservação e o melhor uso da energia, tais como geradores de energia solar e aparelhos de controle do consumo de energia.

2.2 *Smart Grid*

Smart Grid é mais do que uma tecnologia específica para solucionar os problemas da atual matriz energética ou tentar transformar a vida dos usuários (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2010). Trata-se de um conceito abrangente fazendo uso de diversas tecnologias para controlar através de automação e comunicações toda a rede elétrica, o que propicia uma infraestrutura mais integrada entre geração, transmissão e distribuição de energia (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2010).

Smart Grid baseia-se na utilização intensiva de tecnologia da informação, automação e comunicações para monitoramento e controle da rede elétrica, a qual permitirá a implantação

de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso (FALCÃO, 2009).

Algumas das características geralmente atribuídas à *Smart Grid* são (FALCÃO, 2009):

- Auto-recuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- Empoderamento do Consumidor: habilidade de incluir os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- Tolerância a Ataques Externos: capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e ciber-ataques;
- Qualidade de Energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- Acomodar uma Grande Variedade de Fontes e Demandas: capacidade de integrar de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologia;
- Reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade: reduzindo perdas e utilizando fontes de baixo impacto ambiental; e
- Viabilizar e beneficiar-se de mercados competitivos de energia: favorecer o mercado varejista e a microgeração.

A viabilização do conceito de *Smart Grid* é possível através das seguintes áreas tecnológicas (FALCÃO, 2009):

- Dispositivos de Eletrônica de Potência: dispositivos capazes de controlar o sistema de energia elétrica com a velocidade e precisão dos microprocessadores, porém atuando em níveis de potência milhões de vezes maior;

- Geração Distribuída e Microgeração: localização da geração próxima ao uso final, com potencial para melhorar a confiabilidade e segurança de comunidades e consumidores individuais;
- Dispositivos de Armazenamento de Energia: melhora o suprimento as cargas sensíveis a flutuações na qualidade de energia da rede;
- Sistema Integrado de Comunicação: permite comunicação instantânea entre todos os equipamentos críticos do sistema, permitindo o monitoramento, controle e correção; e
- Sensores: redes de sensores inteligentes.

2.3 Edifícios Inteligentes

A automação predial e residencial (em inglês, *home & building automation*) é a tecnologia que estuda a automação de um prédio ou habitação (PRUDENTE, 2011). Domótica é o termo muitas vezes utilizado para identificar a automação residencial (*home automation*) (PRUDENTE, 2011). A automação predial (*building automation*) se refere às funções relativas a um prédio (PRUDENTE, 2011).

Publicações relacionadas com edifícios inteligentes utilizam diversos termos que em princípio possuem o mesmo significado como: automação predial, *building automation*, *smart building* e estão ligados à construção de ambientes para uso do ser humano com abordagem de sistemas integrados e com inteligência (SILVA, 2008).

O *Intelligent Building Institute* (IBI) dos Estados Unidos da América (EUA) define um edifício inteligente como “aquele que fornece um ambiente produtivo e rentável através da otimização de seus quatro elementos básicos, incluindo estruturas, sistemas, serviços e gestão e as inter-relações entre eles” (WONG; LI; WANG, 2005). Em contraste, no Reino Unido o *European Intelligent Building Group* (EIBG) define um edifício inteligente como “aquele que cria um ambiente que maximiza a eficácia para os ocupantes do edifício, enquanto ao mesmo

tempo permitindo a gestão eficiente dos recursos com eficácia de custos de hardwares e instalações” (WONG; LI; WANG, 2005). A diferença observada é que a definição do Reino Unido é mais focada nas necessidades dos usuários, enquanto nos EUA a definição é mais concentrada em tecnologias (WONG; LI; WANG, 2005).

(SO; WONG A.; WONG K., 2011) propôs uma estratégia de dois níveis para definir adequadamente edifícios inteligentes, onde o primeiro nível compreende nove módulos de qualidade ambiental e o segundo nível inclui três áreas de elementos chaves: espaços funcionais, requisitos funcionais e tecnologias. (CHOW, 2004) propôs a inclusão de mais um módulo que trata de questões de saúde para os edifícios. Desta forma, (SO; WONG A.; WONG K., 2011) redefiniu edifício inteligente como aquele que foi projetado e construído com base em uma seleção adequada destes 10 módulos de qualidade ambiental para atender as necessidades do usuário pelas escolhas das instalações das construções apropriados para atingir custo-benefício e longo prazo.

Quanto mais efetivo o projeto de integração entre os vários sistemas maior serão os benefícios obtidos com a automação nas edificações, considerando aspectos de integração de operação de engenharia dos sistemas e infraestrutura inteligente (ARKIN; PACIUK, 1995). Sendo assim, o ponto chave da operação efetiva em um edifício inteligente é a integração entre os serviços, sistemas e estrutura (ARKIN; PACIUK, 1995).

Principais sistemas integrados a um edifício inteligente (FLAX, 1991):

- sistema de gerenciamento de energia;
- sistema de aquecimento, ventilação e resfriamento;
- sistema de iluminação;
- sistema de acesso;
- sistema de segurança;
- sistema de combate e proteção ao fogo;

- sistema de gerenciamento da informação;
- sistema de manutenção;
- sistema de rede e telecomunicação; e
- automação de escritório;

Com a introdução de uma concepção integrada e abrangente que inter-relacione os diversos sistemas existentes em um edifício faz com que este responda em tempo real e com melhor eficiência (FLAX, 1991).

2.4 Conforto Térmico

O homem é um animal homeotérmico. Seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante que é da ordem de 37°C, com limites de variação máxima entre 36,1°C e 37,2°C (FROTA; SCHIFFER, 1988). Cerca de 20% da energia produzida com o metabolismo é transformada em potencialidade de trabalho, sendo assim tem um rendimento muito baixo (FROTA; SCHIFFER, 1988). O restante dos 80% se transforma em calor que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio e para isso depende da atividade que o organismo humano desenvolve (FROTA; SCHIFFER, 1988). O organismo humano experimenta sensações de conforto quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA; SCHIFFER, 1988).

Para a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p.10), o conceito de conforto térmico é “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”.

2.4.1 Zona de Conforto

Para se definir a zona de conforto serão apresentados três variáveis ambientais e um índice, que são:

- temperatura do ar que segundo (BALTAR, 2006) é a temperatura de bulbo seco do ar que está em contato com o corpo de uma pessoa. Também pode ser definida como a temperatura média do atmosférico em torno de um indivíduo (ASHRAE-55, 2004);
- temperatura média radiante que segundo (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998) é a temperatura uniforme de um ambiente fechado imaginário em que a transferência de calor radiante vindo de uma pessoa é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme;
- temperatura operativa que segundo BEYER¹, 2005, é como uma média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar ponderada pelos coeficientes de troca de calor por convecção e por radiação. Segundo o autor isso ocorre visto que uma pessoa constantemente efetua trocas sensíveis por radiação e por convecção; e
- índice Voto Médio Previsto (PMV, do inglês *predicted mean vote*) prediz a resposta média de um grande grupo de pessoas com relação a suas sensações térmicas em um ambiente através de uma escala de sensações térmicas de 7 níveis que varia de -3 até +3 (FANGER, 1972).

A faixa de temperatura considerada aceitável em ambientes com ventilação natural pela maioria das pessoas varia de 16,0°C até 28,0°C, considerando a faixa limite de aceitação do PMV de -1 até 1, que são os limites para caracterização de ambiente levemente frio e levemente morno, respectivamente (SILVA, 1994). Nesta consideração a temperatura média radiante foi adotada como igual à temperatura de bulbo seco, o que caracteriza a temperatura de bulbo seco igual à temperatura operativa (SILVA, 1994).

¹ BEYER, P. O., 2005. Higiene do Trabalho: conforto térmico. Departamento de engenharia Mecânica, Porto Alegre, UFRGS.

(SILVA, 1994) propõe que a faixa de temperatura de conforto térmico seja dividida em duas faixas, uma para o inverno variando de 16°C a 23°C e outra para o verão variando de 23°C e 28°C.

Conforme a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), a condição de conforto térmico depende do fator pessoal que é relativo ao tipo de roupa usada pelas pessoas e que determina a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente e é expressa em “clo” (1 clo = 0,155 m²K/W). A norma estipula parâmetros ambientais suscetíveis a produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80 % ou mais das pessoas. Estes parâmetros se enquadram em faixas de conforto térmico que são: temperatura operativa no verão (roupa típica 0,5 clo) dentro de uma zona delimitada entre 22,5 °C e 25,5 °C com umidade relativa de 65 % e entre 23,0 °C e 26,0 °C com umidade relativa de 35 %, para o inverno (roupa típica 0,9 clo) dentro de uma zona delimitada entre 21,0 °C e 23,5 °C com umidade relativa de 60 % e entre 21,5 °C e 24,0 °C com umidade relativa de 30 %.

3 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

A pesquisa do estado da arte foi realizada nas principais bases de dados, por exemplo, IEEEExplore e Elsevier. Além disso, na grande maioria foi pesquisado e analisado trabalhos publicados nos últimos 5 anos. A pesquisa foi realizada nos seguintes tópicos:

- Automação residencial (*home automation*);
- Automação inteligente (*inteligente automation*);
- Eficiência energética (*energy efficiency*);
- Conforto térmico (*thermal comfort*);
- EnergyPlus; e
- MLE+.

Nos resultados encontrados, foram priorizados os trabalhos mais referenciados (citados). Foram também considerados trabalhos relacionados à pesquisa publicados pelos cursos de engenharia elétrica, mecânica e arquitetura.

3.1 Sistemas de Automação

(IPPOLITO, SANSEVERINO, ZIZZO, 2013) avaliam o impacto da instalação de sistema de controle de automação em edificações (BAC do inglês *building automation control*) e sistema de gerenciamento técnico em edificações (TBM do inglês *technical building management*). Os autores mostram como as funções de controle, monitoramento e automação considerados pela norma europeia EN 15232 podem influenciar consideravelmente no desempenho energético de uma edificação residencial e conseqüentemente na sua eficiência energética de acordo com sua classe. Os autores evidenciam que o benefício adquirido a partir da instalação destes sistemas depende do tipo de tecnologia dos equipamentos instalados e da classe de eficiência energética inicial. Os autores avaliam o impacto econômico com estes sistemas para diferentes classes de energia inicial considerado antes da instalação e concluem que quanto maior for a instalação de

consumo de energia (elétrica e térmica) e menor for sua classe de eficiência energética mais conveniente é a instalação dos sistemas. Afirmam ainda, que a instalação de apenas um dos sistemas (BAC ou TBM), já melhora o desempenho energético da edificação e atualiza a sua classe de eficiência energética de acordo com a norma EN 15217, e que as conclusões gerais são influenciadas por vários fatores, entre os quais o tipo de equipamentos elétrico e do tipo de sistema de aquecimento e resfriamento instalados na residência.

(MARINAKIS et al, 2013) afirmam que atualmente os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia e das emissões totais de gases com efeito estufa da União Europeia, colocando-os entre os setores com maior consumo mundialmente. O objetivo principal do trabalho é apresentar uma ferramenta de automação predial e controle remoto para o monitoramento em tempo real do consumo de energia em edificações. Os autores afirmam que além de analisar o perfil energético da edificação, a ferramenta integra cenários de controle que minimizam o consumo de energia e racionalizam o uso da energia. Foi introduzida uma interface gráfica dedicada para os usuários proporcionando benefícios como a instalação e operação de forma opcional de um sistema de sensores e medidores para monitorar o consumo de energia da edificação combinado com cenários de controle com o objetivo de diminuir o consumo de energia. Essas funções foram desenvolvidas com base em orientações e decisões normativas locais, bem como os requisitos de eficiência energética da EN 15232. Os autores concluem que a ferramenta proposta atinge uma diminuição significativa no custo de funcionamento do sistema ativo em uma edificação, mantendo ao mesmo tempo o conforto desejável.

Segundo (PEROZZO, PEREIRA, 2007), os avanços nas áreas de Tecnologia de Informação e Comunicação tornam viáveis as construções dos chamados “Ambientes Inteligentes”, ambientes dotados de sensores, controladores, interfaces homem-máquina e atuadores capazes de interagir e se adaptar à presença de usuários, facilitando as operações

destes sobre o ambiente e otimizando as condições operacionais. Os autores propuseram em seu trabalho uma arquitetura computacional que permitisse a implementação de ambientes inteligentes em cenários dotados de automação predial/residencial. Segundo estes a arquitetura proposta possui quatro características principais: (i) inteligência no controle de temperatura, baseado em sensores e agendas de ocupação para conforto térmico com otimização do consumo de energia; (ii) inteligência no controle de iluminação, adequando o nível de iluminação do ambiente a cada atividade que está sendo desenvolvida; (iii) uso de dispositivos portáteis como telefone celular e *Personal Digital Assistants* para operação remota e configuração do ambiente; (iv) interface multimodal, a qual permite que o usuário possa interagir naturalmente com cenário automatizado através de diversas maneiras. Tal arquitetura é validada através de um estudo de caso que utiliza como cenário uma sala de seminários automatizada.

CASTRO (2005) propõe uma discussão sobre o uso de sistemas de automação como ferramenta para uso racional de energia em um ambiente. Segundo o autor, o padrão de consumo energético nas edificações brasileiras mostra que há, neste setor, uma grande dependência de energia elétrica e que parte significativa desta energia é gasta para corrigir fatores de desconforto aos ocupantes. O autor concluiu que a automação de sistemas, como por exemplo, os de condicionadores de ar e iluminação, podem levar a um uso mais racional e conseqüente economia de energia.

3.2 *Retrofitting*

BRAGA (2007) propõe um sistema de automação que possibilita o acionamento e desligamento de equipamentos como a iluminação e ventilação, com o objetivo de impedir que estes permaneçam ligados em ambientes desocupados ou em horários inapropriados. Para desenvolvimento do estudo o autor obteve dados de consumo do período de um ano e as características de uma edificação estudada com enfoques em eficiência energética. Com a

análise destes dados substanciou uma proposta de *retrofitting* nos sistemas de iluminação e climatização para alcançar o uso racional da energia elétrica. O autor propôs também o monitoramento contínuo do consumo das instalações da edificação, que ao serem analisados, poderiam viabilizar um gerenciamento da energia consumida e uma operação parcimoniosa da edificação, propiciando uma incorporação gradativa de atitudes eficientemente corretas.

(PEREIRA et al., 2011) apresentaram uma solução de *retrofit* de edifício de serviços para eficiência energética, cujo objetivo foi obter redução do consumo de energia elétrica. As principais propostas dos autores foram: dimensionamento de dispositivos de proteção solar para as fachadas, controle automatizado do sistema de iluminação artificial integrado com a disponibilidade de luz natural e substituição do sistema de ar condicionado. Os autores simularam estas alterações propostas no software *DesignBuilder* e concluíram que com *retrofit* é possível obter redução do consumo de energia, que no caso simulado chegou a uma economia anual de 59%.

(STAZI et al, 2012) apresentam um estudo experimental e analítico em vários andares de edifícios residenciais sem isolamento térmico que foram construídos antes da introdução de padrões de economia de energia (Lei Italiana 373/1976). Os autores identificaram o *retrofit* ideal em termos de conforto, consumo de energia e impacto ambiental. Para isso, os autores realizaram a análise tipológica de 70 edifícios na província de Macerata (Itália central) e a análise de energia de estudos de casos representativos, acompanharam alguns estudo de caso selecionados durante o verão e inverno, simularam o desempenho térmico da edificação em condições dinâmicas utilizando o software *EnergyPlus* e ajustaram o modelo virtual comparando com os resultados experimentais. Realizaram análises para prever o efeito de várias soluções de *retrofit* no conforto e consumo de energia e o impacto ambiental das diferentes soluções. Os autores concluíram que foi possível identificar as soluções ótimas para o envelopamento dinâmico da edificação, verticais e horizontais externamente e que o estudo

mostrou que a estratégia mais eficaz é o isolamento da parede vertical externa. Além disso, concluíram que a introdução de um revestimento externo ventilado foi a melhor solução para o clima temperado.

3.3 Gerenciamento pelo Lado da Demanda

Segundo (ARTECONI, 2013), as bombas de calor são vistas como uma tecnologia promissora para a gestão da carga no ambiente construído em combinação com o conceito de smart grid. Eles podem ser acoplados com os sistemas de armazenamento de energia térmica (TES, do inglês *thermal energy storage*) para transferir cargas elétricas do horário de pico para fora do horário de pico, servindo assim como uma ferramenta importante no gerenciamento pelo lado da demanda (DSM, do inglês *Demand Side Management*). Os autores analisaram as bombas de calor com radiadores ou em sistemas de distribuição de aquecimento sob piso, juntamente com TES com vista a demonstrar como um sistema de bomba de calor se comporta e como ele influencia no conforto térmico dos usuários de uma edificação sob uma estratégia DSM projetado para achatar a forma da curva de carga desligando a bomba de calor durante o horário de pico (16:00 e 19:00). Os autores utilizaram como referência para a análise a Irlanda do Norte (UK). Os resultados mostraram que a bomba de calor é uma boa ferramenta para os fins da DSM, com a utilização de sistemas de TES, em particular com sistemas de distribuição de aquecimento que tenham uma inércia térmica baixa, por exemplo, radiadores, provando ser possível alcançar um bom controle da temperatura interna, mesmo se a bomba de calor permanecer desligada durante 3 h.

Segundo (PINA, SILVA, FERRÃO, 2012) alguns fatores como os custos elevados de combustíveis, aumento da segurança energética e as preocupações com a redução das emissões de gases levaram os governos a investir no uso de energias renováveis para a geração de eletricidade. No entanto, a intermitência da maioria dos recursos renováveis, quando a energia renovável fornece uma parte significativa da combinação de energias pode

criar problemas para as redes de electricidade, que podem ser minimizados através de sistemas de armazenamento de energia que normalmente não estão disponíveis para compra ou possuem alto custo. Uma solução alternativa consiste na utilização de estratégias de DSM, o que pode ter o duplo efeito de reduzir o consumo de energia elétrica permitindo maior eficiência e flexibilidade na gestão da rede, ou seja, permitindo uma melhor adequação entre a oferta e a procura. Os autores analisaram o impacto das estratégias de DSM na evolução do mix de energia elétrica da Ilha das Flores no arquipélago dos Açores, que é caracterizado por altas quotas de energia renovável, sendo assim um estudo de caso interessante para testes de soluções inovadoras. Os autores modelaram em tempo o sistema de geração de energia elétrica, utilizaram um software para otimização do investimento e operação de usinas eólicas e hidrelétricas até 2020 com base em cenários de crescimento da demanda, implantação de tecnologias de resposta à demanda no setor residencial e introdução de mudanças no comportamento para eliminar a energia *standby*. Verificou-se que as estratégias de DSM podem levar a um atraso significativo no investimento em novas capacidades de produção a partir de recursos renováveis e melhora no funcionamento da capacidade instalada existente. Os autores afirmam que a introdução de estratégias de gerenciamento de demanda são base para as tecnologias de eficiência energética, mudanças de comportamento de consumo ou para a introdução de dinâmicas Tecnologias de DSM que são cruciais para a sustentabilidade a longo prazo de qualquer região e que estas opções vão desempenhar um grande papel na transição para sistemas energéticos sustentáveis, mantendo a demanda em níveis atendíveis pelas fontes de energia renováveis.

Segundo (PALENSKY, 2011) o lado da demanda recebe atenção cada vez maior por pesquisadores e pela indústria, além disso, afirma que o DSM é um conjunto de medidas para melhorar o sistema de energia no lado do consumo, que vai desde a melhoria da eficiência energética, utilizando materiais melhores, aplicação de tarifas de energia variáveis para

incentivar determinados padrões de consumo, até o controle sofisticado em tempo real de recursos de energia distribuída. O autor dá uma visão geral e faz a identificação e classificação para DSM, analisa os vários tipos de DSM, e conclui com uma visão sobre os mais recentes projetos de demonstração neste assunto.

3.4 Automação com Dispositivos Móveis

Segundo (DAL'BELLO, 2015), com o desenvolvimento da automação predial-residencial, conceitos como automação residencial-predial assistiva, voltada a prover acessibilidade a pessoas idosas ou com dificuldades motoras, ganham importância. O autor desenvolveu um sistema com o objetivo de integrar uma cadeira de rodas automatizada com um ambiente inteligente, através de sensores de temperatura e luminosidade localizados na cadeira, os quais via uma interface de comunicação sem fio, enviam os dados coletados ao sistema de controle para correta configuração dos cenários de controle. A comunicação entre os sistemas foi validada através de testes experimentais por meio do acionamento de dispositivos atuadores em um sistema de automação residencial, como condicionador de ar e iluminação, usando os dados coletados no local do cadeirante, enviados por uma plataforma eletrônica prototipada. O autor concluiu que a evolução da automação predial-residencial proporciona a sua utilização em prol da geração de conforto para os usuários destes ambientes inteligentes, como por exemplo, pessoas idosas e/ou portadoras de deficiência, caracterizando a automação residencial assistiva.

Conforme (FONSECA, 2011), a modernização da infraestrutura elétrica no sentido das redes elétricas inteligentes é inevitável e trará profundas mudanças em todos os segmentos do sistema elétrico, embora a tecnologia necessária para essa modernização já exista a um custo razoável, ainda restam várias questões que devem ser resolvidas, indefinições em relação aos padrões a serem adotados, regulamentações, segurança, privacidade e vários aspectos tecnológicos dificultam uma implementação coerente, adiando essa modernização. Conforme

o autor o trabalho desenvolvido busca apresentar esse cenário em relação às redes elétricas inteligentes, investigando as tendências e situação atual, dentre essas tendências, há um grande interesse em definir e implementar mecanismos que incentivem uma maior conscientização dos consumidores em relação ao seu uso de energia, além de uma participação ativa dos mesmos no mercado de energia. O autor explica que para isso, exigirá a utilização de ferramentas que possibilitem a redução de custos através do uso mais eficiente da energia. Sendo assim, o autor também propõe um *framework* para a construção e análise dessas ferramentas que buscam auxiliar os consumidores nesse cenário em formação, o *framework* proposto foi construído utilizando uma abordagem por sistemas multiagentes e possibilita a construção, simulação e análise de diversos sistemas, em diferentes cenários, com variados tipos de equipamentos, tanto reais como virtuais, sob diferentes protocolos de comunicação e com a possibilidade de uso de diversos algoritmos para a operação conjunta dos equipamentos.

LEITTE et al. (2012) propõem desenvolver uma automação residencial de baixo custo com um sistema que venha a ter alta confiabilidade e que possa proporcionar eficiência energética ao ambiente. Os autores desenvolveram um projeto que utilizou o sistema operacional móvel *Android*, que por meio de uma rede *Wireless*, se comunica com uma placa de prototipagem de código livre. Segundo os autores, a partir disso, foi possível o acionamento de diversos equipamentos do tipo *On/Off*. Os autores concluíram que o sistema permite que os usuários possam controlar quaisquer eletroeletrônicos de uma residência, desde que sejam configurados para isso, proporcionando um aumento da eficiência energética com baixo investimento.

Em (LAZZARI, 2014) foi desenvolvida uma unidade de acionamento para um aparelho de ar condicionado e de uma plataforma de comunicação remota entre uma unidade central de comando e a unidade de acionamento. O projeto teve como condição de contorno

permitir uma integração com serviços de acesso remoto de dados em servidor web e com banco de dados específico adotado, de modo a que o acionamento do condicionador de ar pudesse ser feito via *Smartphone* ou outro modo de acesso à *internet*. Para o desenvolvimento da proposta o autor utilizou para a unidade central de comando um *Raspberry PI* modelo A, para a unidade de acionamento foi utilizada uma plataforma *Arduino UNO*; como meio de comunicação, foi empregado o módulo RF24L01(+) e um condicionador de ar do tipo *split*. O autor conclui que com a proposta é possível oferece às residências brasileiras um meio simples de se controlarem as despesas com energia elétrica e apresenta interesse econômico tanto ao mercado consumidor de energia quanto às concessionárias de energia, afirma ainda que a evolução dos sistemas microprocessados permitem que se implementem soluções integráveis, escaláveis e dedicadas às aplicações de automação residencial.

3.5 Gestão de Energia Orientada por Ocupação

AGARWAL et al. (2010) propõem a implementação de uma plataforma de sensor de presença que pode ser usado para a detecção precisa de ocupação individual no nível de escritório, e explicam que os sensores de presença utilizados são de baixo custo, sem fio, e de forma incremental e implementável dentro de edifícios inteligentes. Com uma implantação piloto do sistema em dez escritórios ao longo de um período de duas semanas os autores identificaram oportunidades significativas para a economia de energia devido a períodos sem ocupação e como resultado apuraram potenciais econômicos de energia de 10% a 15%, ao utilizarem um sistema de simulação da edificação com as informações de ocupação.

LU et al (2010), utilizam tecnologias de sensoriamento de baixo custo para detectar automaticamente os padrões de ocupação em uma residência e usam esses padrões para reduzir o consumo de energia, desligando automaticamente o sistema de climatização da residência. Os autores chamam esta abordagem de termostato inteligente. Avaliaram essa abordagem com a implantação de sensores em 8 residências e compararam o uso de energia

esperado do algoritmo utilizado no estudo em relação a situação anteriormente configurada nas residências e demonstraram que a abordagem utilizada consegue uma economia de energia de 28%, em média, a um custo de aproximadamente US \$25 em sensores. Segundo os autores, em comparação, uma abordagem de base disponível no mercado que utiliza sensores semelhantes economiza apenas 6,8% de energia em média, para as 8 residências dos testes houve um aumento no consumo de energia em 4 delas.

Segundo (KLINGENSMITH, WILLIS, BANERJEE, 2013) os sistemas de climatização possuem um único sensor de temperatura (termostato) e um único ponto de controle (aquecer ou restringir), mas frequentemente há uma grande variação de temperatura em toda a edificação por causa da variabilidade em isolamento, fluxo de ar e etc. Como resultado, o termostato não pode capturar totalmente todas as informações relevantes das temperaturas. Além disso, os espaços diferentes em uma edificação podem ter requisitos de aquecimento e resfriamento diferentes. Os autores propõem introduzir um sistema de climatização que possa controlar a temperatura em vários ambientes diferentes de uma edificação de forma independente de acordo com a ocupação e hora do dia, visando reduzir o consumo de energia e aumentar o conforto térmico dos usuários. Os autores tratam esses problemas adicionando novas entradas de sensores e novos pontos de controle para o sistema de climatização existente na residência. Assim, o novo sistema pode entender os níveis de conforto dos moradores e fornecer controle de *feedback* em tempo real para ajustar a temperatura nos espaços ocupados da residência.

Os autores demonstraram que em uma implantação piloto, o sistema pode reduzir o consumo de energia do sistema de climatização em 18%, enquanto melhora o conforto dos moradores.

3.6 Outros Trabalhos Relacionados

(TORRI, 2011) propõe em seu trabalho uma plataforma extensível para micro medição em eletrodomésticos que supre as necessidades para a criação de um *Smart Appliance*. Segundo o autor, esta plataforma possui funções de conectividade e capacidade de processamento local. Conclui que além de prover a funcionalidade básica de acompanhamento do consumo de energia do eletrodoméstico conectado, assume uma grande parcela na tarefa de economia de energia doméstica e predial melhorando a eficiência energética.

(HENKE, 2014) propõe um dispositivo para controle de movimentação de uma cortina motorizada automatizada com o objetivo de reduzir o consumo de energia a partir da refrigeração e iluminação artificial em níveis adequados para o bem estar dos usuários. Segundo o autor a análise dos resultados obtidos demonstrou uma redução no consumo de energia em cerca de 12 % quando comparado o cenário utilizando a cortina motorizada e automatizada com o cenário onde as cortinas nunca são baixadas e cerca de 72 % quando comparado o cenário utilizando a cortina motorizada e automatizada com o cenário onde as cortinas nunca são levantadas. O autor concluiu que o mesmo apresentará melhores índices de eficiência energética independentemente da situação a que seja comparado. Estimou ser uma possível solução de redução no consumo energético para edificações.

Segundo (PEFFER et al, 2011) os termostatos residenciais controlam uma parte substancial de energia elétrica, em média 9% do consumo total, e os consumidores instalam termostatos programáveis para economizar energia, mas estudos recentes mostram que residências com termostatos programáveis dependendo do caso podem consumir mais energia do que residências com termostatos controlados manualmente ou mesmo que residências sem termostato. Os autores explicam que o aumento tecnológico dos termostatos inclui, por exemplo, a capacidade de controle da ventilação, configuração do funcionamento em períodos

onde o preço da energia for diferenciado e com recursos como interagir com uma rede de dados local para integração com outros sistemas. A partir disso, os autores discutem estudos de como as pessoas utilizam atualmente os termostatos, descobrindo que quase a metade não usa os recursos de programação associadas com o uso dos termostatos. Os autores concluem que é necessário uma investigação ao se projetar/testar estes termostatos com os usuários, pois estes termostatos podem proporcionar um conforto térmico maior e com mais economia em ambientes internos.

Para (HAN; LIN, 2010), hoje as organizações utilizam IEEE802.15.4 e *ZigBee* para efetivamente entregar soluções para uma variedade de áreas, incluindo dispositivos eletrônicos controlados pelos usuários, gestão e eficiência energética em edificações e automação predial, bem como na gestão de instalações industriais. As redes de energia das residências inteligentes tiveram uma atenção maior devido à sua integração flexível na vida cotidiana. Esta próxima geração de sistema de residências verdes unifica vários eletrodomésticos, sensores inteligentes e tecnologias de comunicação sem fio. A rede de energia em residências verdes forma gradualmente um sistema complexo que passa a processar várias tarefas. Os autores propõem um novo Sistema de gerenciamento de energia em casa inteligente (SHEMS, do inglês *Smart Home Energy Management System*) com base na IEEE802.15.4 e *ZigBee* (os autores chamam de uma "rede de sensores *ZigBee*"). Os autores concluem que o SHEMS proposto gerencia várias tarefas da rede doméstica para componentes apropriados, além disso, podem integrar informações de sensoriamento físico diversificado e controlar vários dispositivos domésticos dos consumidores, com o apoio de redes de sensores ativos melhorando a gestão e eficiência energética nas residências.

(MENDES et al, 2005) apresentam em seu estudo uma síntese do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à área de simulação do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil, desde o início da utilização de ferramentas computacionais, na década

de 80, até os dias de hoje. Os autores expõem que durante esse período, alguns grupos de pesquisa se destacaram promovendo o uso de ferramentas computacionais no projeto e análise do desempenho de edificações, incluindo avaliação do comportamento térmico, energético e luminoso. Os autores apresentam um panorama geral da evolução do consumo de energia elétrica em edificações no país da década de 80 até o ano de 2002, após a crise de abastecimento que forçou grande parte do Brasil a um racionamento em 2001, explicaram que esse contexto impulsionou a pesquisa por alternativas de projetos de edificações mais eficientes, marcada com a regulamentação da lei nacional de eficiência energética (Lei nº 10.295), publicada em 17 de outubro de 2001. Os autores apresentam também uma síntese das pesquisas desenvolvidas na área pelos principais grupos de pesquisa nacionais nas áreas de sistemas térmicos passivos; sistemas de refrigeração, ventilação e condicionamento de ar; energia solar; construção civil; e análise de desempenho de edificações. Verificaram que muitos desses estudos resultaram em dissertações de mestrado e teses de doutorado que moldaram o uso da simulação de edificações no país até os dias de hoje. Os autores concluem apresentando uma projeção sobre as tendências para o uso e desenvolvimento de ferramentas para a simulação do desempenho de edificações.

Para (MOGHADDAM; MONSEF e KIAN, 2015) um dos problemas mais desafiadores associados com a operação de micro-redes inteligentes é a gestão de energia otimizada de edifícios residenciais com relação a objetivos múltiplos e muitas vezes divergentes. Os autores desenvolvem um modelo de programação não linear inteira multi-objetivo para a otimização do uso de energia em uma casa inteligente, considerando-se um equilíbrio significativo entre economia de energia e um estilo de vida confortável. O algoritmo proposto poderia não só reduzir o consumo de energia com o uso da energia das concessionárias, mas também garantir uma programação de tarefa otimizada e um conforto térmico para os usuários. Os autores verificaram a eficiência e robustez do algoritmo

proposto, realizando uma série de simulações em diferentes cenários usando dados reais, e os resultados obtidos foram comparados em termos de custo total do consumo de energia, as taxas de conveniência dos usuários e nível de conforto térmico.

Para (MARTIRANO et al, 2014) os sistemas de automação predial são a chave para melhorar o desempenho energético dos edifícios e também o conforto dos ocupantes. Os autores dizem que há uma necessidade de construir uma base de conhecimento sobre o assunto para aumentar o número de algoritmos adequados para uma gestão inteligente dos "edifícios inteligentes". Sugerem a lógica *fuzzy* para o desenvolvimento de algoritmos robustos. Os autores validam uma abordagem lógica *fuzzy* capaz de otimizar o nível de desempenho energético e conforto em um espaço de escritório, aproveitando o sistema de automação predial e a energia solar. Os autores estudaram diferentes cenários de um modelo virtual de uma sala de escritório inteligente, equipado com sombreamento dinâmico, iluminação e sistema de controle de ar condicionado automatizado, considerou as seguintes comparações: i) controle versus não-controle; ii) economia versus conforto; iii) iluminação fluorescente versus diodo emissor de luz (LED, do inglês *Light Emitting Diode*); iv) escurecimento versus comutação. Os autores verificaram que em ambas a economia e modo de conforto mostrou um desempenho energético melhor do que os cenários não controlados. Os autores concluíram que o modelo proposto é uma ferramenta valiosa para otimizar recursos de conforto e demanda de energia como um todo.

3.7 Discussão

Para atingirem os objetivos propostos quanto à eficiência energética e/ou para manter o conforto térmico dos usuários, os trabalhos acima descritos propõem as seguintes metodologias:

- a) instalação de sistemas de automação para tornar o ambiente inteligente;
- b) melhoria no gerenciamento do sistema de automação;

- c) substituição de equipamentos por outros mais eficientes energeticamente;
- d) instalação de uma quantidade maior de sensores e atuadores nos sistemas existentes;
- e) estudos de monitoramento do consumo de energia de equipamentos para melhor gerenciá-los; e
- f) estudos com modelos computacionais.

Diante do exposto, embora as propostas dos trabalhos analisados tratem os temas pesquisados de forma isolada identificou-se a oportunidade de aprofundar as pesquisas combinando os temas de eficiência energética, conforto térmico, ambiente climatizado e automatizado.

Sendo assim, após a análise do estado da arte, este trabalho propõe utilizar e analisar o uso de estratégia para deslocar o horário de funcionamento e a forma de ajuste do valor de setpoint de resfriamento de um ambiente equipado com um sistema de automação residencial/predial que objetiva reduzir o consumo de energia e ainda manter a temperatura ambiente na zona de conforto.

4 PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO

Conforme a análise do estado da arte, o desenvolvimento tecnológico e a utilização de sistemas de automação tornam os ambientes cada vez mais inteligentes, permitindo que outros sistemas possam ser integrados aos sistemas de automação. Esta integração vem possibilitando um impacto positivo no ponto de vista da eficiência energética e melhoria no conforto dos usuários destes ambientes em relação a sistemas que trabalham isoladamente.

Por exemplo, hoje é possível decidir qual o melhor horário e/ou tempo de funcionamento de cargas baseado nos preços de energia, fonte de energia utilizada ou ainda baseado no horário de ocupação do ambiente. Essa gestão de energia é um ponto importante para a eficiência energética, além do benefício da qualidade do ambiente para o conforto do usuário.

Diante disso, será analisado o desempenho de soluções que possam ser integradas ao sistema de automação para melhorar o conforto térmico dos usuários e a eficiência energética, considerando que o ambiente utilizado no estudo de caso como referência no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa será um ambiente automatizado com outros sistemas integrados, em alinhamento com o objetivo proposto nesse trabalho.

4.1 Metodologia

Para alcançar os objetivos, o desenvolvimento do trabalho de pesquisa foi dividido em três etapas. Na primeira etapa foram realizados os seguintes procedimentos:

- definição do ambiente automatizado objeto de análise da pesquisa;
- aquisição de medições no ambiente definido, utilizando sistema configurado e programado para as aquisições de medições utilizadas na análise de desempenho inicial e validação do modelo computacional do ambiente definido;

- proposição da análise do desempenho inicial do ambiente definido para diferentes perfis de usuários. Nesta fase foram observadas as características e configurações do sistema de automação do ambiente, características de uso da automatização pelos usuários com relação ao potencial de melhoria quanto ao conforto térmico e eficiência energética;
- criação do modelo computacional do ambiente definido; e
- validação do modelo computacional, simulando o modelo com a mesma configuração, período e condições climáticas obtidas a partir da aquisição de medições realizadas no ambiente definido e com as mesmas configurações do sistema de automação predial-residencial, comparando os resultados de consumo de energia da simulação com o consumo de energia do ambiente real, assim como, a comparação da curva de temperatura interna simulada e a curva de temperatura interna do ambiente real.

Na segunda etapa, com o objetivo de melhorar o conforto térmico dos usuários, foi deslocado o horário de funcionamento do sistema de climatização, fazendo com que a temperatura do ambiente estivesse dentro da faixa de conforto durante todo o tempo de permanência dos usuários no ambiente (isto é, desde o início até o final da aula). Para isso, foram definidos os seguintes procedimentos:

- deslocamento no período de funcionamento do sistema de climatização afim de manter a temperatura do ambiente dentro da faixa de conforto durante todo o período de ocupação pelos usuários; e
- validação da segunda etapa da proposta realizando simulações de cenários configurados com o pior caso (capacidade máxima de ocupação do ambiente e período de simulação com as maiores temperaturas externas) e analisando as

temperaturas internas destas simulações dentro do horário de ocupação e faixa de conforto térmico.

Na terceira etapa, com o objetivo de melhorar a eficiência energética do ambiente definido, foram definidos os seguintes procedimentos:

- proposição de uma estratégia para variação do *setpoint* de resfriamento do sistema de climatização;
- validação da terceira etapa da proposta realizando co-simulações do modelo computacional e a estratégia proposta, com cenário idêntico ao configurado no melhor caso da segunda etapa e comparando os consumos de energia elétrica obtidos na co-simulação com os obtidos nas simulações da etapa anterior. Além disso, realizou-se a simulação e co-simulações dos mesmos cenários em um período anual e analisando o impacto econômico no consumo de energia deste ambiente;
- análise de estudo de caso das estratégias aplicadas no ambiente real, utilizando o mesmo sistema de aquisição de medições configurado e programado com a proposta e analisando o comportamento do ambiente em condições normais de uso e ocupação por um período semanal; e
- análise de estudo de caso das estratégias aplicadas na futura edificação do Núcleo de Excelência de Redes de Comunicações Industriais (NERCI), criando o modelo computacional da edificação simulando e co-simulando o mesmo com e sem as estratégias por um período anual e comparando os consumos de energia obtidos.

4.1.1 Ambiente de estudo de caso

Para aplicação da pesquisa definiu-se para o estudo de caso a sala 301-A, utilizada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) e localizada no prédio da Engenharia Elétrica da UFRGS.



Figura 3 – Prédio utilizado pelo PPGEE.
Fonte: DELET (2015).

Esta sala de aula comporta cerca de 25 alunos, como mostra a planta baixa da sala na Figura 4, e é utilizada de 2ª a 6ª feira nos horários das 8:30 às 12:10 e das 13:30 às 17:10. Pode-se observar que este ambiente possui três janelas voltadas para o lado sul e a porta de acesso a sala está voltada para o lado norte e os lados leste e oeste fazem divisa com outras salas. A escolha desta sala justifica-se em função desta possuir um sistema de automação predial da empresa *Homesystems*, o qual controla tanto a temperatura da sala através do acionamento e definição do *setpoint* de um *split*, bem como o sistema de iluminação e diferentes cenários de salas de aulas (incluindo controle de tela de projeção, equipamento multimídia, som ambiente e câmera para acompanhamento remoto das aulas).

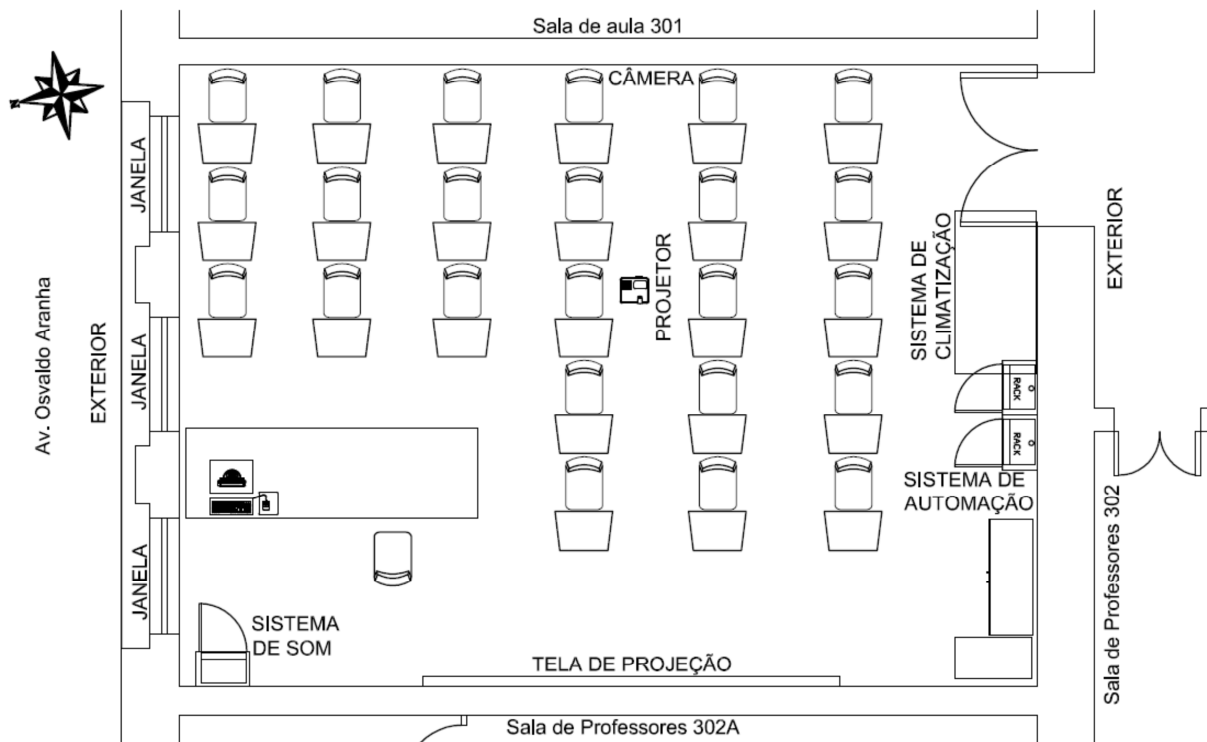


Figura 4 – Planta Baixa da sala de aula ambiente de estudo de caso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 5 apresenta a arquitetura do sistema de automação da sala, a qual possui uma área de 60,64 m² e dispõe de um sistema de climatização com capacidade de resfriamento de 42.000 btu/h, capacidade de aquecimento de 46.500 btu/h e volume de ar de 2.100 m³/h, além disso, este ambiente não possui sistema de renovação forçada de ar. A integração com o sistema de automação existente no ambiente analisado também se restringe apenas ao acionamento do equipamento e ajuste fixo do valor do *setpoint* de resfriamento. O Apêndice A inclui uma descrição mais detalhada deste sistema de automação

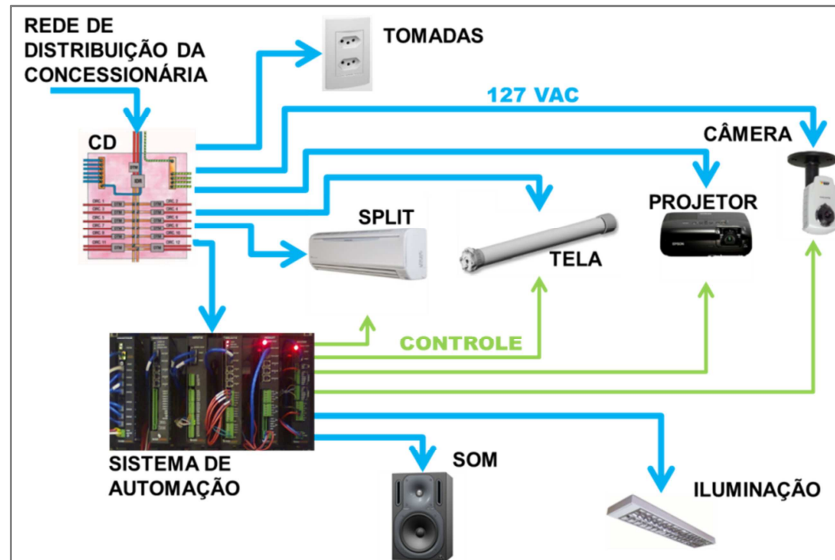


Figura 5 – Sistema de distribuição e controle da sala 301A do prédio 11106 da UFRGS.
Fonte: Elaborado pelo Autor

Na seção seguinte será apresentada uma análise inicial do comportamento do consumo dos diferentes perfis de usuários do ambiente definido. Além disso, serão apresentadas as estratégias adotadas na segunda etapa da proposta com o objetivo de melhorar o conforto térmico e na terceira etapa da proposta com o objetivo de melhorar a eficiência energética.

4.2 Análise do Desempenho do Ambiente Analisado

Conforme definido na seção anterior, o ambiente utilizado como estudo de caso é uma sala de aula e este ambiente já está automatizado com o sistema da empresa *Homesystems*. O sistema de climatização da sala está integrado com o sistema de automação e este controla o acionamento do equipamento de climatização e o *setpoint* de resfriamento do mesmo. Em sua configuração atual, o sistema de automação aciona o equipamento somente no período de aula, ajustando o *setpoint da temperatura ambiente* em um valor fixo pré-definido. Cabe ressaltar que o sistema de climatização é acionado pelo sistema de automação após o início da aula ou por meio da verificação de ocupação do ambiente (definido por sensores de presença instalados na sala) ou pelo sistema de acesso ao ambiente. Desta forma, dependendo do período do ano, no horário de início da aula a temperatura interna da sala encontra-se bem acima do valor superior da zona de conforto térmico, sendo que o sistema de climatização

precisa de vários minutos para trazer a temperatura interna para a região de conforto térmico, ou seja, a temperatura da sala de aula pode ficar fora da zona de conforto térmico em boa parte do horário de aula.

Numa primeira etapa do trabalho analisou-se o comportamento deste ambiente com relação ao consumo de energia e conforto térmico em diferentes cenários, comumente adotados em salas de aula, onde o sistema de climatização somente é acionado após a entrada dos primeiros usuários, visto que é comum nestes casos o controle remoto do equipamento ser entregue junto com as chaves da sala de aula. Para isso, realizou-se a aquisição das medições dos sensores de temperatura do sistema de automação e aquisição do consumo de energia do ambiente, sendo que para isto um sistema de aquisição foi desenvolvido, o qual será detalhado posteriormente no capítulo 5.

Foram analisados 4 cenários para esta análise:

- cenário 1: o sistema de climatização é acionado no início dos dois períodos de aula, nos turnos da manhã e da tarde, sendo desligado no final dos dois períodos. O valor de *setpoint* de resfriamento é ajustado para o valor fixo de 22°C, valor utilizado atualmente na sala de aula. Este cenário caracteriza o perfil mais comum de funcionamento, conforme descrito anteriormente;
- cenário 2: similar ao cenário 1, mas com a diferença de que o sistema de climatização permanece ligado durante o intervalo do meio dia;
- cenário 3: o sistema de climatização é acionado no início do período de aula da manhã e é mantido em operação durante o restante do dia. O objetivo deste cenário é demonstrar que em um ambiente não automatizado e devido a um possível esquecimento do usuário o sistema de climatização poderia permanecer ligado desnecessariamente. Adicionalmente, neste cenário considera-se que o *setpoint* de resfriamento é ajustado para o valor de 20°C, ou

seja, abaixo do nível de conforto térmico. Este procedimento visa replicar uma situação que ocorre frequentemente, quando usuários chegam em ambientes com temperatura mais elevada e sabendo que será um dia de temperaturas altas, ajustam o valor de *setpoint* bastante baixo, acreditando que desta forma o sistema de climatização consiga reduzir a temperatura do ambiente de forma mais rápida;

- cenário 4: considera que o sistema de climatização já estava ligado desde o dia anterior e permanece ligado durante as 24 horas do dia, com *setpoint* de resfriamento ajustado para o valor fixo de 20°C. O objetivo deste quarto cenário é representar a situação de um ambiente não automatizado, no qual devido a um possível esquecimento do usuário o sistema de climatização permanece ligado desnecessariamente, mantendo-se o *setpoint* de resfriamento ajustado abaixo da faixa de conforto.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 mostram o gráfico das temperaturas internas medidas no ambiente analisado em cada um dos cenários. A Tabela 4 apresenta o consumo de energia em cada um dos cenários.

A Figura 6 apresenta as curvas de temperatura interna do ambiente, bem como a temperatura externa do cenário 1 no período de 24 horas. Pode-se observar que a temperatura interna da sala estava inicialmente acima da faixa de conforto térmico em ambos os acionamentos (28°C no início do período da manhã e 26°C no início do período da tarde) e que a temperatura externa teve pico de 36°C por volta de 14h05min, tendo um valor médio de 29,91°C.

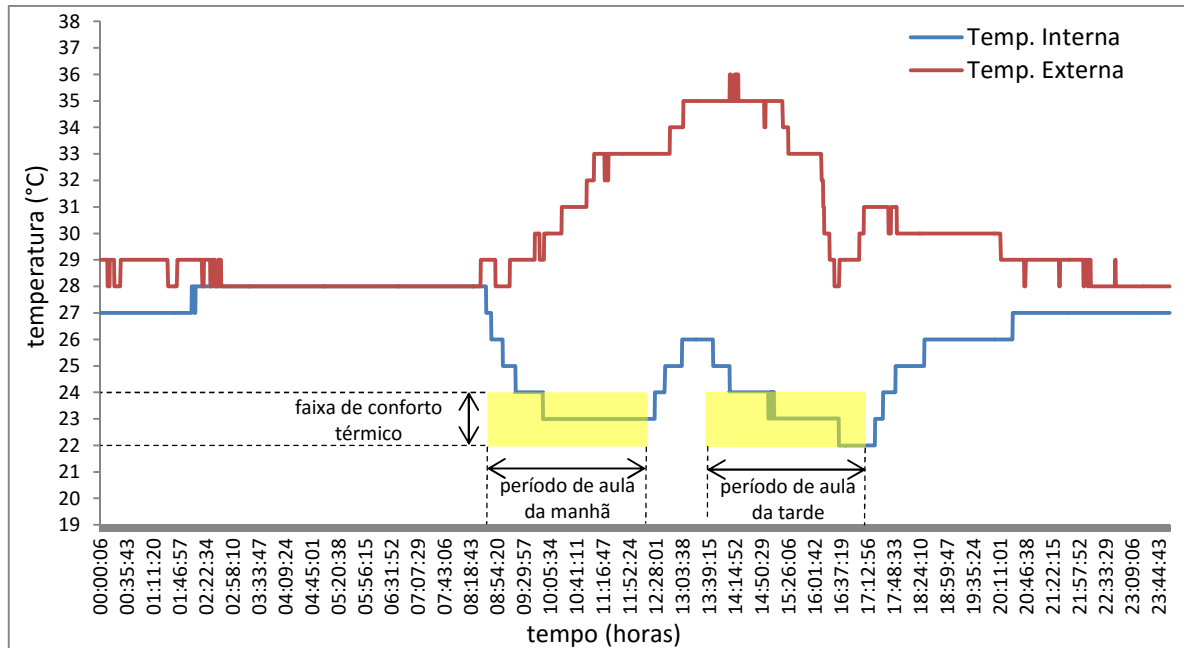


Figura 6 – Valores obtidos no teste experimental no cenário 1.

A Figura 7 mostra de forma mais detalhada o comportamento da temperatura interna do cenário 1 no horário de aula, onde pode-se observar que a temperatura interna do ambiente somente entra na faixa de conforto térmico cerca de 50 minutos após o acionamento do sistema de climatização e início da aula da manhã e no período da tarde somente cerca de 37 minutos após o acionamento do sistema de climatização e início da aula da tarde. Ainda pode ser observado que após o término da aula e desligamento do sistema de climatização em ambos os períodos a temperatura interna permaneceu dentro da faixa de conforto cerca de 30 e 38 minutos nos períodos da manhã e tarde respectivamente.

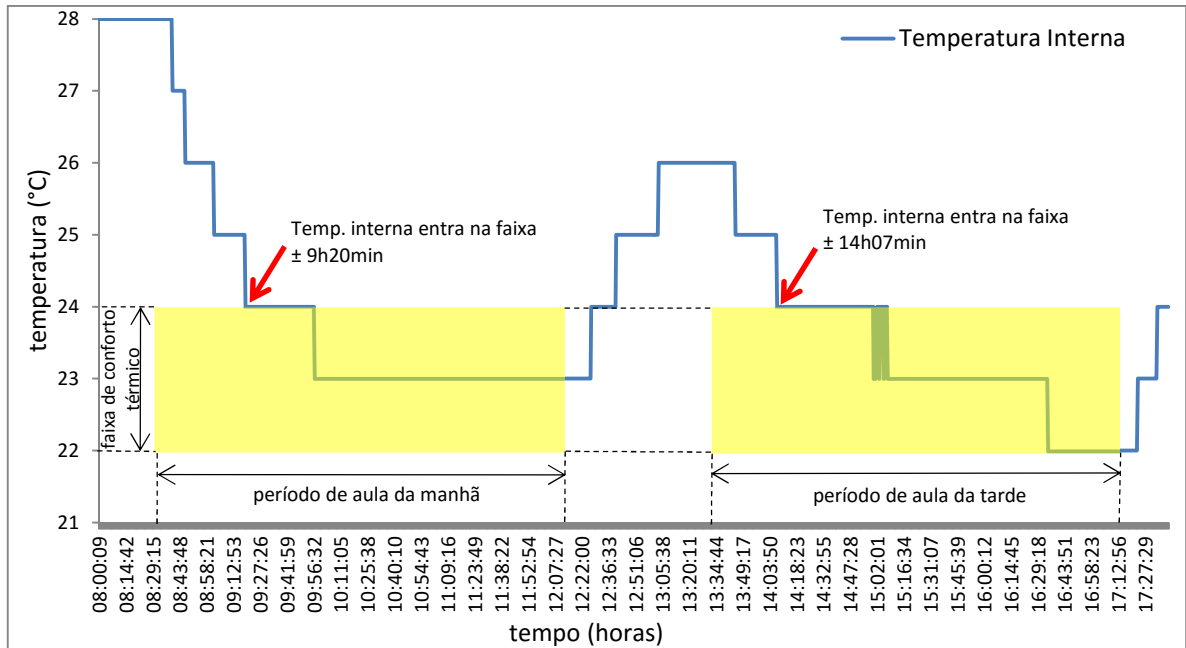


Figura 7 – Temperatura interna no período de aula no cenário 1.

A Figura 8 apresenta os valores de temperatura do cenário 2, onde pode ser observado no início da aula que a temperatura interna já se encontrava na faixa de conforto e permaneceu com seu valor dentro da faixa durante todo o período de aula.

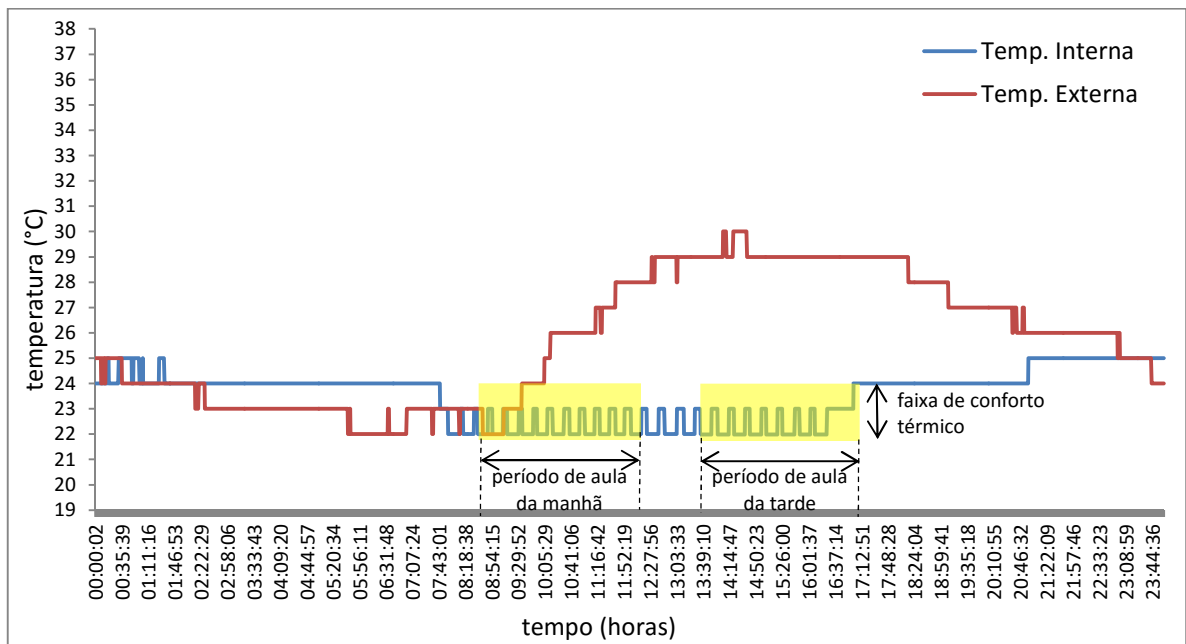


Figura 8 – Valores obtidos no teste experimental no cenário 2.

A Figura 9 apresenta as curvas de temperatura interna e externa do cenário 3, onde pode-se observar que a temperatura interna manteve-se oscilando entre 20°C e 21°C até o final da medição às 23h59min devido ao esquecimento do sistema de climatização acionado.

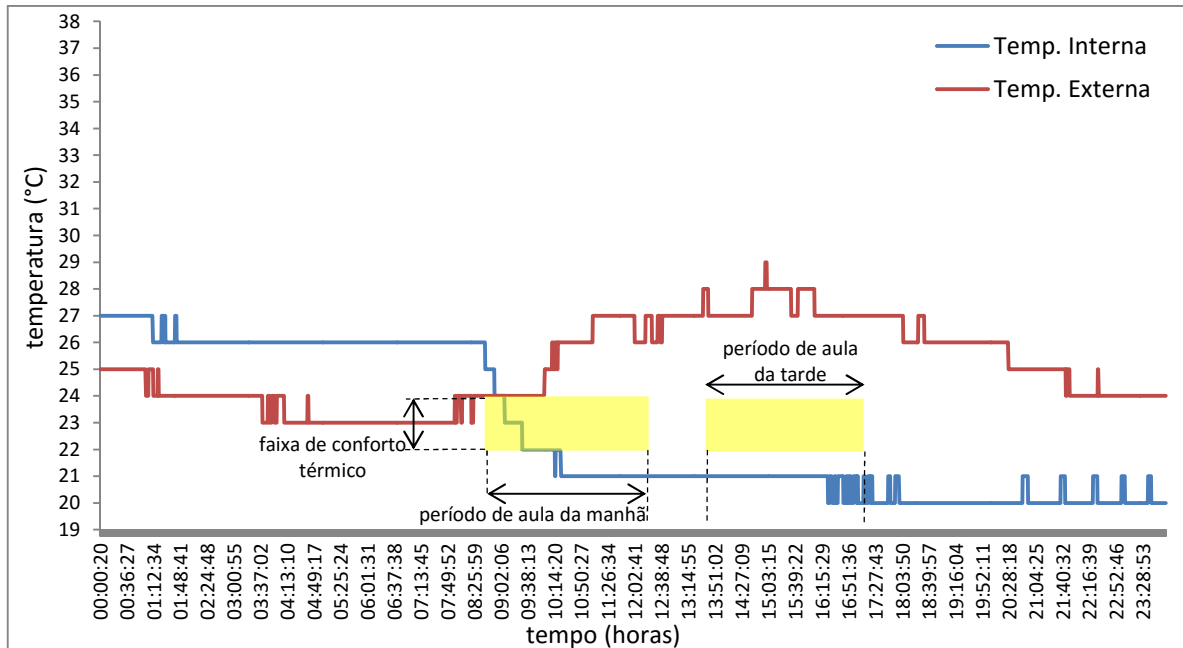


Figura 9 – Valores obtidos no teste experimental no cenário 3.

A Figura 10 mostra de forma mais detalhada o comportamento da temperatura interna do cenário 3 no horário de aula, onde pode-se observar que após o acionamento do sistema de climatização, no início da aula do período da manhã, a temperatura interna estava inicialmente acima da faixa de conforto térmico, sendo que às 8h53min, ou seja, 23 minutos após o acionamento do sistema, a temperatura interna entra na faixa de conforto. Em função do *setpoint* de resfriamento estar ajustado para 20°C, pode ser observado que a temperatura interna sai da faixa de conforto às 10h22min da manhã, permanecendo fora desta faixa no restante do período.

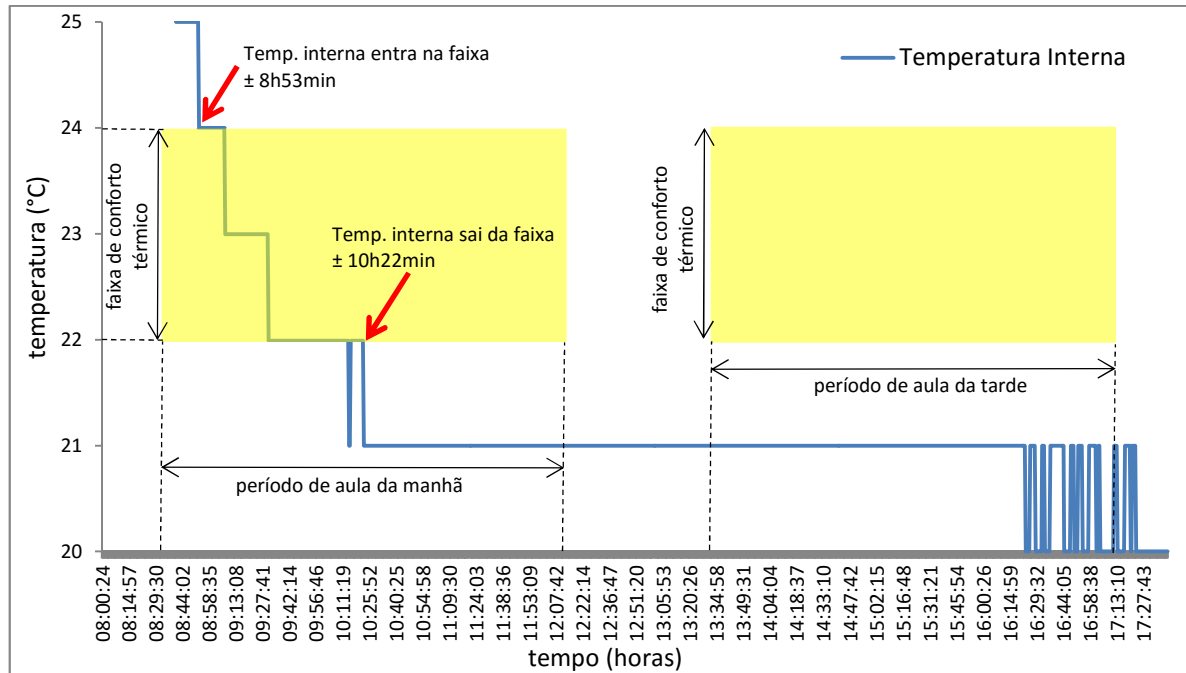


Figura 10 – Temperatura interna no período de aula no cenário 3.

A Figura 11 apresenta os valores de temperatura do cenário 4, onde pode ser observado que durante todo o período de aula a temperatura interna esteve oscilando entre 20°C e 21°C, valores abaixo da faixa de conforto térmico, permanecendo em 100% do tempo fora da faixa. Neste quarto cenário o sistema de climatização permanece acionado durante as 24 horas, aumentando o consumo de energia, como pode ser observado na tabela 4.

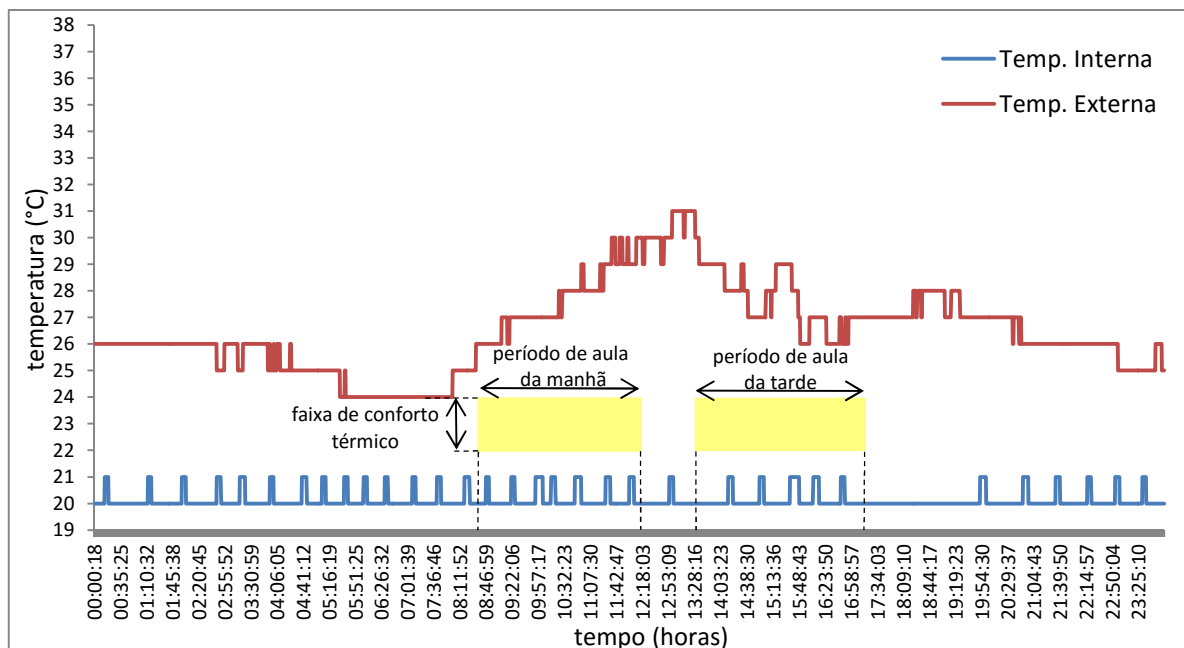


Figura 11 – Valores obtidos no teste experimental no cenário 4.

O sistema de climatização é composto pela parte de resfriamento e ventilação, e quando a temperatura do ambiente atinge a temperatura de *setpoint* a parte de resfriamento é desligada, permanecendo somente a ventilação do sistema ligado e conseqüentemente diminuindo o consumo de energia do sistema de climatização. Nos testes realizados foi observado que entre o primeiro cenário e o segundo cenário houve um aumento no tempo de funcionamento do sistema de climatização, e conseqüentemente deveria apresentar um maior consumo de energia. Entretanto, houve uma redução no consumo ocorrido principalmente pela diferença na temperatura externa, que no segundo cenário foi menor, conforme pode ser observado nos resultados mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação dos cenários testados experimentalmente.

	Tempo de funcionamento do sistema de climatização	Consumo de energia elétrica da sala (kWh)	Temperatura Externa no período da medição		Período dentro da faixa de conforto térmico no horário de aula
			Média (°C)	Máxima (°C)	
Cenário 1	7h20min	9,55	29,91	36,0	80 %
Cenário 2	8h40min	5,52	25,67	30,0	100 %
Cenário 3	15h30min	16,11	25,11	29,0	17 %
Cenário 4	24h	24,13	26,57	31,0	0 %

O primeiro cenário possui a mesma configuração de funcionamento da sala de aula que é estudo de caso deste trabalho, cujo sistema de climatização é acionado no início de cada aula, a partir da identificação pelo sistema de acesso ou pela verificação de ocupação da sala, caracterizando um ambiente automatizado. Os demais cenários configuram ambientes que não são automatizados, pois o sistema de climatização pode permanecer ligado fora do horário de aula ou sem ocupação do ambiente.

Por fim pode ser observado na Tabela 4 que o ajuste do valor de *setpoint* de resfriamento em valores próximos dos limites do sistema de climatização faz com que diminua o período de permanência da temperatura interna do ambiente dentro da faixa de conforto térmico como mostra o terceiro e quarto cenário.

A partir desta análise inicial do comportamento do ambiente analisado, ficou evidente que é possível melhorar o controle de temperatura da sala, em especial com relação ao conforto térmico dos usuários.

No entanto, pode ser observado que a análise comparativa entre cenários diferentes no ambiente real fica prejudicada, pois as medições são realizadas em dias diferentes e com temperaturas externas distintas. Além disso, outras variáveis não se repetiriam, como algumas fontes de calor interno, entre elas, a ocupação de usuários no ambiente, bem como o uso dos equipamentos pelos usuários seria diferente. Em função disto, decidiu-se pela construção de um modelo do comportamento do ambiente analisado com relação à sua temperatura interna, de forma a permitir a realização de análises comparativa. De posse deste modelo, as simulações podem ser realizadas no mesmo período com a mesma temperatura externa e com as mesmas variáveis, quantas forem necessárias. O Capítulo 5 detalha este modelo.

4.3 Estratégia Adotada para Melhoria do Conforto Térmico dos Usuários

Nesta segunda etapa da proposta deste trabalho decidiu-se por antecipar o horário de funcionamento do sistema de climatização, acionando o equipamento em um horário pré-definido antes do início do período de aula. Os demais parâmetros permaneceram inalterados.

Com isso, busca-se fazer com que o ambiente esteja com a temperatura interna dentro da faixa de conforto térmico durante todo o período de aula. Seguindo um raciocínio similar quanto a questão de conforto térmico e também visando economizar energia, programou-se o desligamento do equipamento em um horário antes do término da aula.

A Figura 12 demonstra o resultado da simulação considerando-se as temperaturas externas bastante elevadas. Observa-se que nos dois casos as temperaturas estavam acima da faixa de conforto térmico antes do início da aula, tanto no período manhã quanto no período da tarde. Em função disto, a estratégia de deslocamento do instante de ativação do sistema de climatização para antes do início da aula mostra-se efetiva, visto que no horário de início da

aula a temperatura interna já se encontra na zona de conforto. O instante de tempo de ativação depende da temperatura interna da sala (quanto mais alta a temperatura, mais cedo o sistema deve ser acionado). Já o deslocamento antecipado do desligamento do sistema de climatização não traz vantagens, visto que a temperatura interna tende a aproximar-se rapidamente da temperatura externa, conforme indicado na Figura 12 (no caso, a temperatura externa no horário de desligamento seria de 33°C no dia 15 e 34°C no dia 16), bem acima do valor máximo da faixa de conforto. No caso, um desligamento antecipado faria a temperatura sair da faixa de conforto dentro do período da aula e, em função disto, é preferível desligar-se o sistema apenas no final da aula.

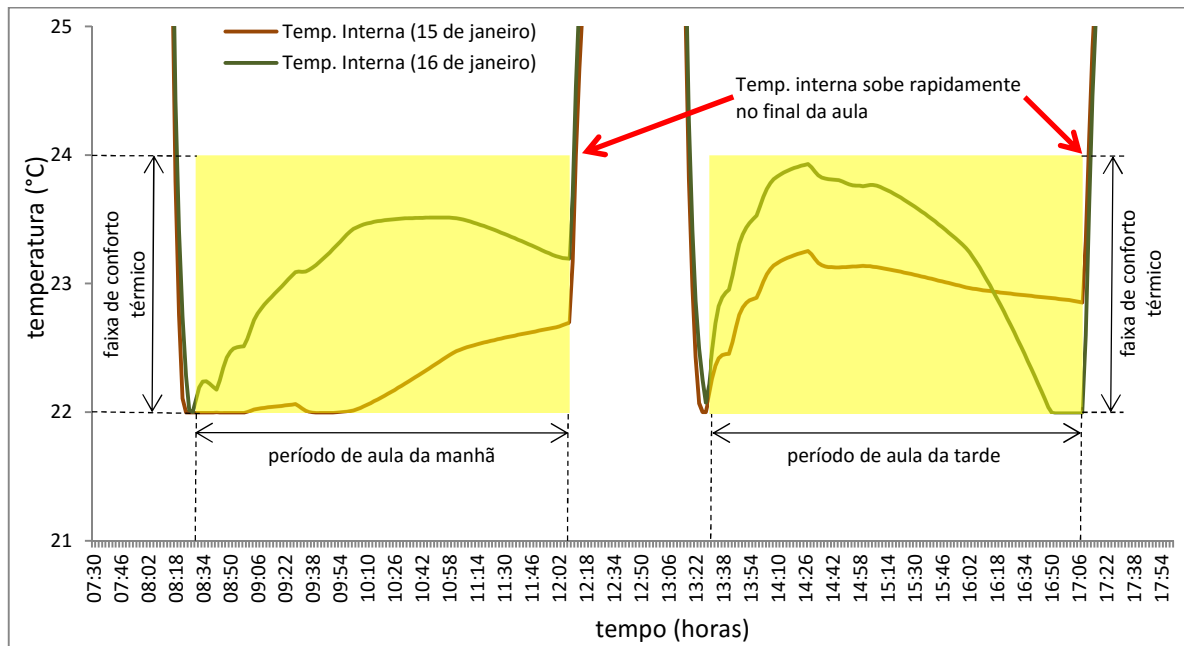


Figura 12 – Temperatura interna em dois dia de simulação.

Todavia, esta melhoria no conforto térmico é obtida às custas de um maior consumo de energia. A fim de contornar esta situação indesejada, na próxima seção apresenta-se uma estratégia para melhoria da eficiência energética.

4.4 Estratégia Adotada para Melhoria na Eficiência Energética

A integração do sistema de climatização com o sistema de automação possibilita acionar e desligar o sistema de climatização e ajustar o valor do *setpoint* de resfriamento,

como pode ser observado na Figura 13. O sistema de automação possui uma interface de comunicação que possibilita a integração de novos dispositivos, este recurso foi utilizado para complementar a aplicação desta estratégia como mostrado na Figura 13, integrando o sistema que possui o algoritmo desta estratégia, desta forma, foi possível reduzir o tempo de funcionamento da parte de resfriamento do sistema de climatização, reduzindo assim o consumo de energia.

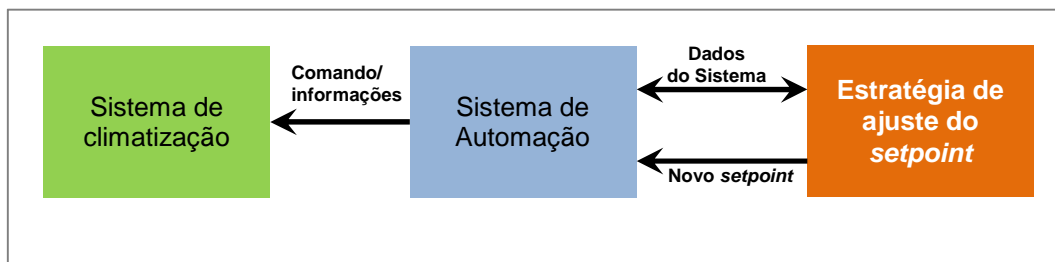


Figura 13 – Estratégia para variação do *setpoint* de Resfriamento.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério a ser utilizado para a variação do *setpoint* dentro do intervalo de temperaturas do conforto térmico leva em consideração o comportamento da temperatura externa, pois o desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado às condições climáticas, como temperatura do ar, umidade e radiação. A partir disso, a próxima seção apresentará a estratégia proposta para variar esse valor de *setpoint*.

4.4.1 Algoritmo para Definição do *Setpoint* de Resfriamento

O principal objetivo é manter a temperatura dentro do intervalo de conforto térmico ao mesmo tempo em que se reduz o consumo de energia do sistema de climatização.

O algoritmo adotado para definição do *setpoint* de resfriamento baseia-se em um exemplo distribuído junto com o pacote de ferramentas do *MLE+*, onde este exemplo é proposto para prédios de pequeno porte que é o caso do ambiente analisado.

O algoritmo utiliza como entrada para o cálculo do valor de *setpoint* a temperatura externa do ambiente analisado e mais dois parâmetros que devem ser definidos, que é a faixa

de conforto térmico, definida pelos valores $MenTR$ e $MaiTR$, e a faixa de temperatura externa em que o valor de *setpoint* variará seu valor, denominadas de $MenTE$ e $MaiTE$.

A definição do valor do *setpoint* de resfriamento é definida conforme a equação (1):

$$SP = \max(MenTR, \min(MaiTR, X)) \quad (1)$$

onde, $\max(A,B)$ é uma função que retorna o maior valor entre A e B , $\min(C,D)$ é uma função que retorna o menor valor entre C e D , SP é o valor de *setpoint* de resfriamento e X é definida conforme a equação (2):

$$X = MenTR + (TE - MenTE) \times R \quad (2)$$

onde, TE é a temperatura externa ao ambiente coletada e enviada pelo sistema de automação predial-residencial e R é taxa em que o valor de *setpoint* de resfriamento irá variar seu valor definida conforme a equação (3):

$$R = \frac{MaiTR - MenTR}{MaiTE - MenTE} \quad (3)$$

Para atender as definições da estratégia, será necessário seguir as restrições descritas em (4), (5) e (6).

$$MenTE \geq MenTR; \quad (4)$$

$$MaiTE \leq MaiTR; e \quad (5)$$

$$MenTE < MaiTE. \quad (6)$$

Ou seja, pela equação 1 tem-se que o valor do *setpoint* assume o seguinte comportamento:

- para valores de X maiores que $MaiTR$, ou seja, acima da zona de conforto, o valor de SP é constante e igual a $MaiTR$;
- para valores de X menores do que $MaiTR$, mas maiores do que $MenTR$ (ou seja, valores de X dentro da zona de conforto), o valor de SP é igual a X ;

- para valores de X menores do que $MenTR$, o valor do SP é constante e igual a $MenTR$;

Segundo a equação 2, o valor de X estará dentro da zona de conforto e consequentemente SP será igual a X , se for atendida as condições (4), (5) e (6) e quando o valor de $(TE - MenTE)$ for maior que 0, ou seja, a temperatura externa for maior que $MenTE$, caso contrário X será menor que $MenTR$ e SP será igual a $MenTR$. Além disso, a temperatura externa tem que ser menor que $MaiTE$, caso contrário o valor de X será maior que $MaiTR$ e SP será igual a $MaiTR$.

A Fig. 14 busca ilustrar este comportamento da variação do valor do setpoint de resfriamento, onde a faixa de conforto térmico é definida entre o limite inferior de $22^{\circ}C$ ($MenTR$) e limite superior de $24^{\circ}C$ ($MaiTR$) estando dentro da faixa definida pela norma ABNT NBR 16401-2 que é de $21^{\circ}C$ à $26^{\circ}C$ (clo 0,9 para inverno e clo 0,5 para verão). Além disso, foi definida a faixa entre o limite mínimo de $22,5^{\circ}C$ ($MenTE$) e o limite máximo de $23,5^{\circ}C$ ($MaiTE$) em que o setpoint pode variar seu valor, a partir da variação do valor da temperatura externa. Observa-se na Figura 14 que ao iniciar a aula as 8:30 o valor de setpoint inicia com o valor de $22^{\circ}C$ ($MenTR$) e permanece com este valor até as 10:00, neste instante a temperatura externa que está aumentando atinge o valor de $22,5^{\circ}C$ ($MenTE$) e o valor de setpoint passa a aumentar conforme valores definidos pela equação (1) até as 11:00, neste instante a temperatura externa que continua aumentando atinge o valor de $23,5^{\circ}C$ ($MaiTE$) e o valor de setpoint atinge o valor de $24^{\circ}C$ ($MaiTR$) e permanece neste valor até o final do período da aula as 12:10.

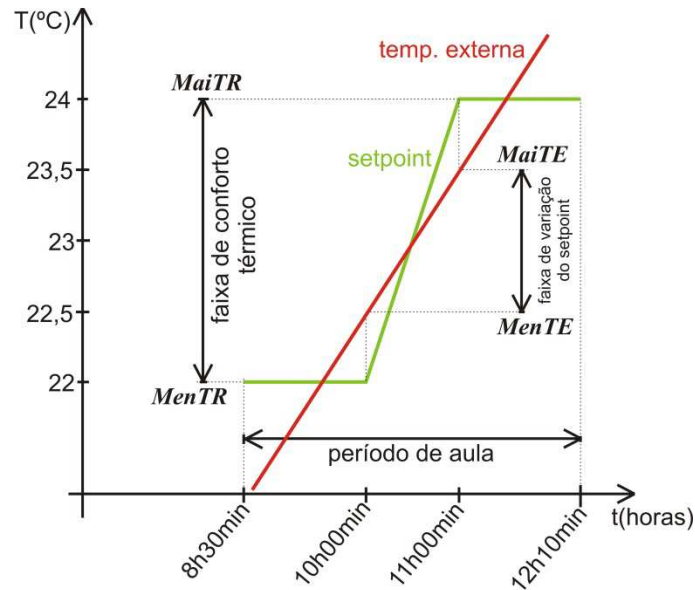


Figura 14 – Exemplo de comportamento da estratégia proposta.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi visto, a estratégia delimita o valor do *setpoint* de resfriamento do equipamento entre o limite inferior ($MenTR$) e o limite superior ($MaiTR$) da faixa de conforto térmico, além disso, verificou-se que existe um segundo intervalo de valores da temperatura externa em que o valor do *setpoint* irá variar conforme a temperatura externa variar e este segundo intervalo possui um limite inferior ($MenTE$) e um limite superior ($MaiTE$).

Neste trabalho a estratégia foi desenvolvida no software *Matlab* e o *script* da estratégia utilizada está descrita no APÊNDICE B.

5 IMPLEMENTAÇÃO

Para o desenvolvimento da proposta foram realizadas as seguintes implementações que serão descritas neste capítulo:

- instalação de medidor de energia para coleta e armazenamento do consumo de energia da sala de aula;
- instalação de sistema de aquisição e armazenamento dos valores de temperatura interna e externa da sala de aula;
- criação e validação de modelo computacional da sala de aula;
- instalação da estratégia de deslocamento do período de funcionamento do sistema de climatização no modelo computacional da sala de aula; e
- instalação da estratégia com o algoritmo no sistema de aquisição e armazenamento dos valores de temperatura interna e externa da sala de aula.

5.1 Aquisição e Armazenamento de Medições do Ambiente Analisado

A aquisição do consumo de energia do ambiente foi realizada com o auxílio de um Analisador de Energia da empresa EMBRASUL, modelo RE4000, mostrado na Figura 15.



Figura 15 – Analisador de Energia RE4000.
Fonte: EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA (2008).

O equipamento de medição foi instalado na entrada de energia elétrica do ambiente analisado, mais especificamente no circuito elétrico de entrada da Caixa de Distribuição

Interna (CDI), conforme mostra a Figura 16. Desta forma, torna-se possível coletar o consumo de energia total.



Figura 16 – Ligação do Analisador de Energia na CDI do ambiente analisado.
Fonte: Fotografado pelo autor.

Além disso, foi realizada a aquisição e armazenamento das temperaturas internas e externas e *setpoint* de resfriamento do ambiente inteligente analisado. Para isso, utilizou-se um sistema de aquisição composta pela montagem das seguintes placas:

- uma placa *Arduino Mega 2560*;
- uma placa *Shield Ethernet* com *SDCard*;
- uma placa *RTC*; e
- uma placa *Shield TFT LCD Screen*.

A montagem do circuito destas placas se dá por meio de encaixe, as especificações detalhadas destas placas estão descritas separadamente no APÊNDICE E. A placa *Arduino Mega 2560* possui o microcontrolador com a programação desenvolvida para aquisição e armazenamento das temperaturas internas, temperaturas externas e *setpoint* de resfriamento, o código do programa utilizado está descrito APÊNDICE F.

Este sistema de aquisição está conectado na mesma rede *Ethernet* que está o controlador *Systembox* do sistema de automação, conforme mostra a Figura 17. Desta forma,

o sistema de aquisição envia solicitações de temperatura interna, temperatura externa e *setpoint* do sistema de climatização ao controlador *Systembox*. A arquitetura de comunicação destas solicitações utilizadas estão descritas no item 5.1.1. O sistema de automação possui dois sensores de temperatura: um instalado junto ao módulo termostato do sistema de automação (sensor de temperatura interna) e outro no lado externo da parede norte do ambiente (sensor para medição da temperatura externa). Quando solicitado este sistema retorna ao sistema de aquisição os valores destas temperaturas e o valor do *setpoint* de resfriamento. Este último foi pré-definido na programação inicial ou ajustado manualmente pelo usuário do ambiente. O protocolo de comunicação utilizado pelo sistema da empresa *Homesystems* via protocolo *Ethernet* está descrito em detalhes no APÊNDICE A.

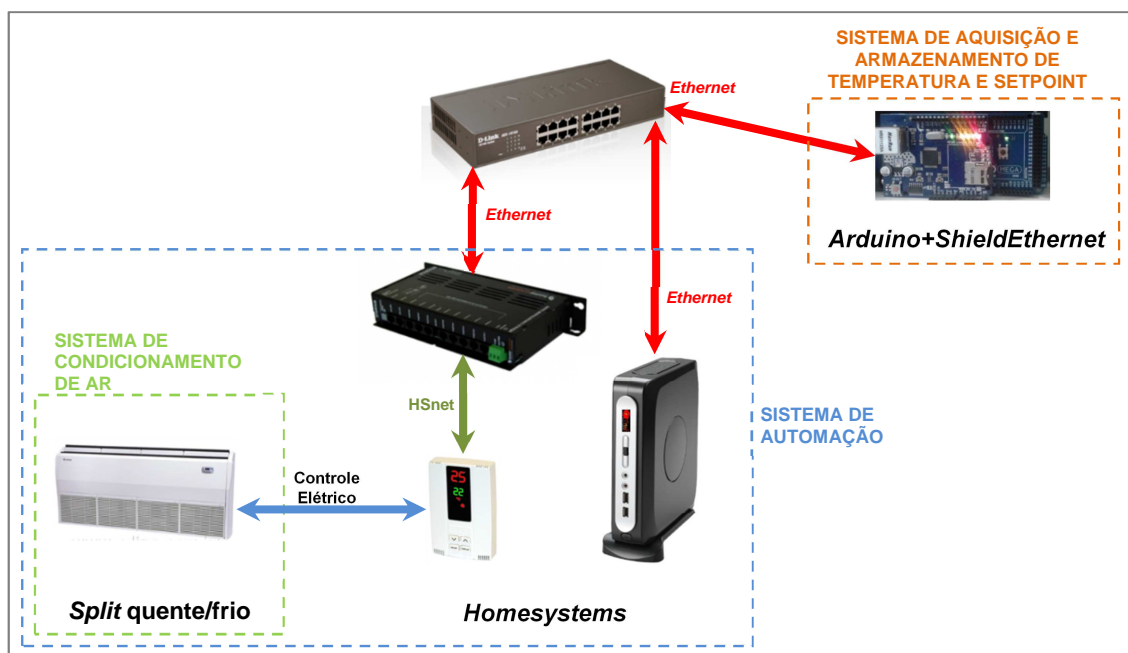


Figura 17 – Arquitetura do sistema de automação com o sistema proposto.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações são coletadas a cada 30 segundos e após cada aquisição estas informações são armazenadas em um arquivo gravado em um cartão *micro-SD* instalado no *slot* do *Shield Ethernet* para posterior análise. Além disso, juntamente com cada informação coletada são armazenados a data e horário da aquisição com informação enviada pelo módulo *real time clock* (RTC). Por fim, foi utilizado um display de cristal líquido para registro e

monitoramento das informações coletadas. Desta forma, podem-se verificar as temperaturas coletadas, o valor de *setpoint*, data e hora a cada aquisição. Na próxima seção serão apresentados os comandos utilizados para a comunicação com o controlador do sistema de automação.

5.1.1 Comunicação via Http para Aquisição de Medições de Temperaturas

A comunicação entre o *Systembox* e o sistema de aquisição de temperatura é implementada através de requisições via protocolo HTTP, utilizando comandos pré-definidos pela empresa *HomeSystems* e detalhados no Apêndice A. A comunicação usa o conceito de “units”, que é a identificação atribuída internamente pelo sistema de automação e que pode ser associada a dispositivos, portas de entrada e saída, variáveis, entre outro. O sistema de automação possui um sensor de temperatura conectado ao controlador *Systembox*, ao qual é associada a *unit* 322 (mede a temperatura externa). O termostato conectado ao controlador *Systembox* possui internamente um sensor de temperatura com *unit* 465 (mede a temperatura interna do ambiente) e o sistema de automação possui também uma variável com a *unit* 460, que corresponde ao *setpoint* de resfriamento.

Desta forma, a requisição enviada ao *Systembox* para solicitação do valor das três unidades descritas acima é:

-<http://Systembox-301a.ece/monitor/monitor.cgi?ref_page=get&unit=322,465,460>,

onde são solicitadas o valor das três informações (mapeadas como 3 “units”) na mesma solicitação. O *Systembox* processa a informação e retorna os valores atuais.

O endereço *Systembox-301a.ece* corresponde ao endereço IP fixo registrado para o controlador do sistema de automação do ambiente analisado.

5.2 Modelo Computacional do Ambiente Analisado

Com o objetivo de prever o comportamento do ambiente analisado através de simulações foi construído um modelo do ambiente analisado, como mostra a Figura 18. Com

este modelo é possível realizar varias simulações no mesmo período de tempo com as mesmas condições climáticas.

A construção do modelo se dá a partir de informações do projeto arquitetônico básico da edificação, características construtivas do local como espessuras e tipos de materiais, especificações dos materiais utilizados, equipamentos instalados, infiltração de ar, ventilação, horários e dias de funcionamento dos equipamentos, ocupação da sala e sistema de condicionamento de ar do tipo *split*. Também foi considerada a influência de outras edificações que estão em seu redor, como as sombras dos prédios vizinhos.

A ferramenta de simulação utilizada foi o software *EnergyPlus* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a) que permite criar modelos realistas, assim como fluxo de ar entre as zonas e sua termodinâmica. Maiores detalhes sobre a ferramenta estão disponíveis no APÊNDICE C. Para auxiliar na criação do modelo computacional, utilizou-se a interface gráfica do software *SketchUp* (SKETCHUP, 2015) e o *plugin OpenStudio* (SKETCHUP, 2015), o qual auxilia na visualização do prédio em sua implementação no *SketchUp* e para estabelecer características da edificação analisada. O APÊNDICE G descreve com mais detalhes o software *SketchUp* e o *plugin OpenStudio*.

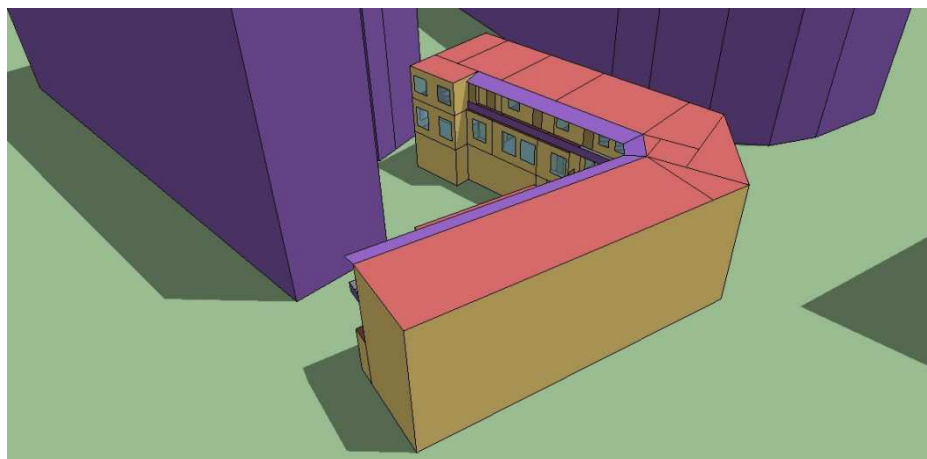


Figura 18 – Modelo da Edificação do Ambiente inteligente Analisado.

O software *EnergyPlus* recebe como entrada um arquivo, com a terminação IDF, o qual contém classes e objetos necessários para a realização da simulação. Entre as classes

necessárias para a simulação do ambiente inteligente analisado estão: o período da simulação, o período entre cada interação, todas as características construtivas e configurações do ambiente a ser simulado e especificação de todas as variáveis de saída e de resultado a serem mostrados no final da simulação.

O software também necessita de informações climáticas para a simulação do desempenho térmico do ambiente sendo analisado. Para isto utilizou-se de um arquivo contendo dados anuais (8760 horas de registros). Estes dados climáticos são registrados em estações automáticas, mais frequentes em aeroportos, sendo assim, utilizado para o modelo o arquivo meteorológico da cidade de Porto Alegre do estado do Rio Grande do Sul (LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, 2014).

As características e configurações do ambiente inteligente analisado, inseridas como objetos no documento IDF, estão descritas na seção seguinte.

5.2.1 Características e Configurações da Edificação do Ambiente Analisado

A Tabela 5 apresenta as diferentes áreas (denominadas de “zonas” segundo a terminologia do software *EnergyPlus*) definidas para a realização da simulação. A região de interesse deste trabalho é a zona 11 da Tabela 5, que corresponde à sala 301A.

Tabela 5 – Zonas da Edificação do Ambiente Analisado.

Item	Zona	Área (m ²)	Condicionada (Sim/Não)	Volume (m ³)	Pessoas (pessoas/m ²)	Luzes (W/m ²)	Equipamentos (W/m ²)
01	Sala205	71,76	Sim	322,92	0,111	9,755	4,181
02	Corredor01Sala206	9,03	Não	40,64	-	11,074	-
03	Corredor02Sala206	35,80	Não	161,10	-	8,380	-
04	Sala206A	30,50	Sim	137,25	0,098	9,836	9,836
05	Sala206B	43,88	Sim	197,46	0,114	22,789	6,837
06	Sala206D	56,96	Sim	256,32	0,088	17,556	5,267
07	Sala206E	32,74	Sim	147,33	0,153	9,163	9,163
08	Sala206F	28,29	Sim	127,31	0,177	14,139	10,604
09	Deposito-IEE	8,19	Não	36,86	-	12,210	-
10	Sala301	67,63	Sim	270,52	0,370	8,872	4,436
11	Sala301A	60,64	Sim	212,24	0,412	9,894	4,947
12	Sala302	28,29	Sim	113,16	0,106	10,604	3,535
13	Sala302A	32,74	Sim	130,96	0,031	12,217	3,054
14	Sala303	96,88	Não	387,52	0,413	12,386	3,097
15	PredioParte2	-	-	-	-	-	-

Além das características das zonas, também foram definidos os períodos de funcionamento de equipamentos, sistema de iluminação, sistema de climatização, etc., assim como o período de ocupação do ambiente analisado, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Configuração dos horários de funcionamento dos dispositivos da edificação do Ambiente Analisado.

Item	Nome	Classe do IDF no software	Descrição IDF (%)
1	Período de funcionamento da iluminação	<i>Lights</i>	Dias da semana: Até as 8:30 -> 0,0 Até as 12:10 ->100,0 Até as 13:30 -> 0,0 Até as 17:10 ->100,0 Até as 24:00 -> 0,0
2	Período de funcionamento dos equipamentos	<i>ElectricEquipment</i>	Dias da semana: Até as 8:30 -> 10,0 Até as 12:10 -> 100,0 Até as 13:30 -> 10,0 Até as 17:10 -> 100,0 Até as 24:00 -> 10,0
3	Período de Ocupação dos usuários	<i>People ZoneVentilation</i>	Dias da semana: Até as 8:30 -> 0,0 Até as 12:10 -> 100,0 Até as 13:30 -> 0,0 Até as 17:10 -> 100,0 Até as 24:00 -> 0,0
4	Infiltração do Ambiente	<i>ZoneInfiltration</i>	Dias da semana: Até as 8:30 -> 100,0 Até as 12:10 -> 50,0 Até as 13:30 -> 100,0 Até as 17:10 -> 50,0 Até as 24:00 -> 100,0
5	Período de funcionamento do Sistema de climatização	- <i>ZoneVentilation</i> - <i>Coil:Cooling:DX:SingleSpeed</i> - <i>Coil:Heating:Electric</i>	Dias da semana: Até as 8:30 -> 0,0 Até as 12:10 -> 100,0 Até as 13:30 -> 0,0 Até as 17:10 -> 100,0 Até as 24:00 -> 0,0

As construções com paredes, pisos entre outras estão relacionadas na Tabela 7 e são compostas por camadas ou “Layers”, os materiais estão especificados no APÊNDICE I, as construções são utilizadas pelo software de simulação.

Tabela 7 – Construções do Modelo da edificação do Ambiente Analisado.

Item	Construção	Material
Janela		
1	Janela Externa de Tijolo de Vidro	OutsideLayer: Eco Lite Verde 10mm Layer2: Air 50mm Layer3: Eco Lite Verde 10mm
2	Janela Externa Vidro Simples	OutsideLayer: Clear 3mm
Porta		
3	Porta Externa	OutsideLayer: G05 30mmwood
4	Porta Interna	OutsideLayer: G05 30mmwood
Parede		
5	Parede 30cm	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: M01 240mm brick Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
6	Parede 46cm	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: M02 400mm brick Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
7	Parede 5cm Divisória	OutsideLayer: G02 50mmplywood
Piso		
8	Piso Frio	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete Layer3: Piso cerâmico
9	Piso Parket	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete Layer3: Parket
Teto		
10	Teto – Piso Frio	OutsideLayer: Piso cerâmico Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
11	Teto – Piso Parket	OutsideLayer: Parket Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
Telhado		
12	Telhado com Forro	OutsideLayer: Metal da Cobertura metálica Layer2: F06 Ceilingairspaceresistance Layer3: M14a 100mm heavyweight concrete Layer2: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer4: F06 Ceilingairspaceresistance Layer5: Forro de PVC
13	Telhado	OutsideLayer: Metal da Cobertura metálica Layer2: F06 Ceilingairspaceresistance Layer3: M14a 100mm heavyweight concrete Layer2: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara

Fonte: Elaborado pelo autor com base em software *EnergyPlus*.

Muitos parâmetros de configuração do modelo computacional da sala de aula foram ajustados e definidos durante a validação do mesmo, pois devido à falta de informações técnicas do prédio, foram necessários vários ajustes durante os testes para se obter um modelo com características e configurações o mais próximas da sala de aula real para que as simulações desempenhassem um comportamento térmico o mais próximo da obtidas nas medições da sala real.

5.2.2 Co-simulação do Modelo Computacional e a Estratégia Proposta

Conforme mencionado anteriormente, o *EnergyPlus* processa arquivos de entrada com base em textos para a execução de simulações de construções realistas, simula simultaneamente cargas, sistemas e instalações permitindo uma rápida avaliação de desempenho da edificação. No entanto o *EnergyPlus* possui limitações para desenvolvimento de algoritmos, otimização, síntese de controle e projeto de sistema baseado em modelo e além disso, não tem a capacidade de interagir diretamente com a computação científica e software de simulação, tais como *Matlab* e *Simulink*.

Em função disto, torna-se complexa a implementação e simulação da estratégia de variação de *setpoint* do sistema de climatização elaborada em *Matlab* diretamente no *EnergyPlus*, pois o *setpoint* é repetidamente calculado com base no estado atual do modelo computacional. Todavia, algumas ferramentas que permitem a integração entre *Matlab* e *EnergyPlus* estão disponíveis, tais como a ferramenta MLE+ (MLE+, 2015). Esta ferramenta utiliza os recursos de simulação de construção do software *EnergyPlus* enquanto ao mesmo tempo aproveita ao máximo o ambiente *Matlab* com a proposta de estratégia deste trabalho. A Figura 19 mostra a integração destas ferramentas. Maiores detalhes sobre a ferramenta MLE+ são descritos no APÊNDICE D.

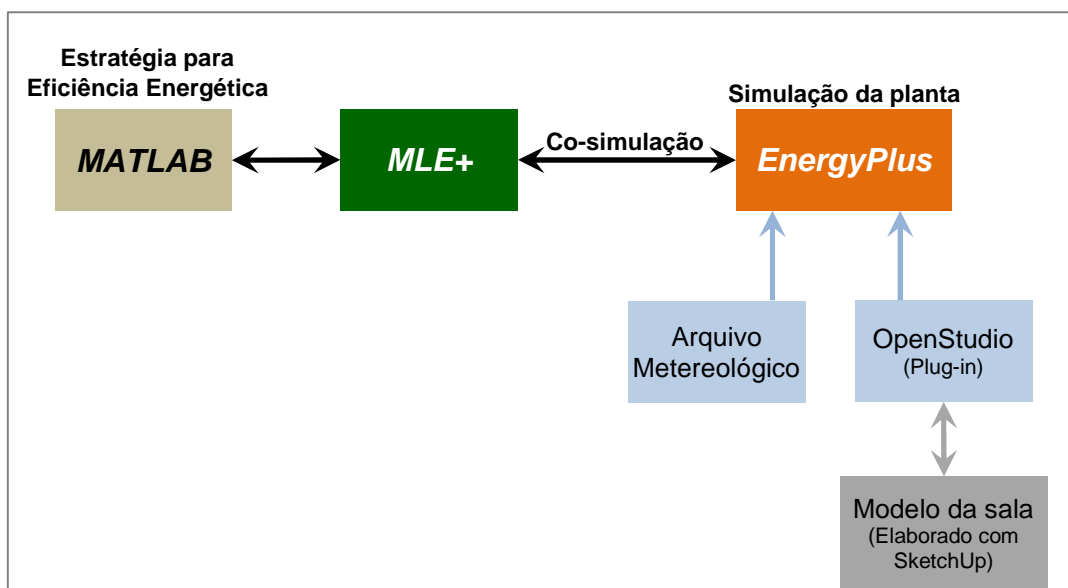


Figura 19 – Estrutura da ferramenta MLE+ com *EnergyPlus* e *Matlab*.

A co-simulação é uma forma de simulação que permite que a estratégia proposta e o modelo do ambiente, ambos simulados por softwares diferentes rodando simultaneamente possam trocar entre si informações de forma colaborativa. Sendo assim, o arquivo IDF com o modelo computacional foi alterado e configurado para que o *EnergyPlus* envie durante a co-simulação os valores de temperatura externa e interna do ambiente para o *Matlab*, o qual calcula o valor do *setpoint* de resfriamento e retorna o novo valor para o *EnergyPlus*. Ao final da co-simulação o *EnergyPlus* fornece a temperatura interna do ambiente analisado, bem como os valores de *setpoint* de resfriamento e o consumo de energia.

5.3 Validação do Modelo Computacional do Ambiente Analisado

Para a validação do modelo computacional do ambiente analisado, foram utilizadas as mesmas configurações dos cenários de testes realizados na análise inicial, essas informações foram configuradas no modelo computacional para o teste de simulação.

5.3.1 Resultados

As Figuras 20, 21, 22 e 23 apresentam os comportamentos das curvas das temperaturas internas obtidas da análise inicial no ambiente realizado na primeira etapa deste trabalho e as obtidas nas simulações do modelo computacional deste mesmo ambiente, onde foram adotadas as mesmas configurações em ambos os casos, como por exemplo, a curva da temperatura externa do modelo computacional foi à curva obtida no teste experimental. Pode-se observar que o formato das curvas são bem próximo (pontos de subida e descida).

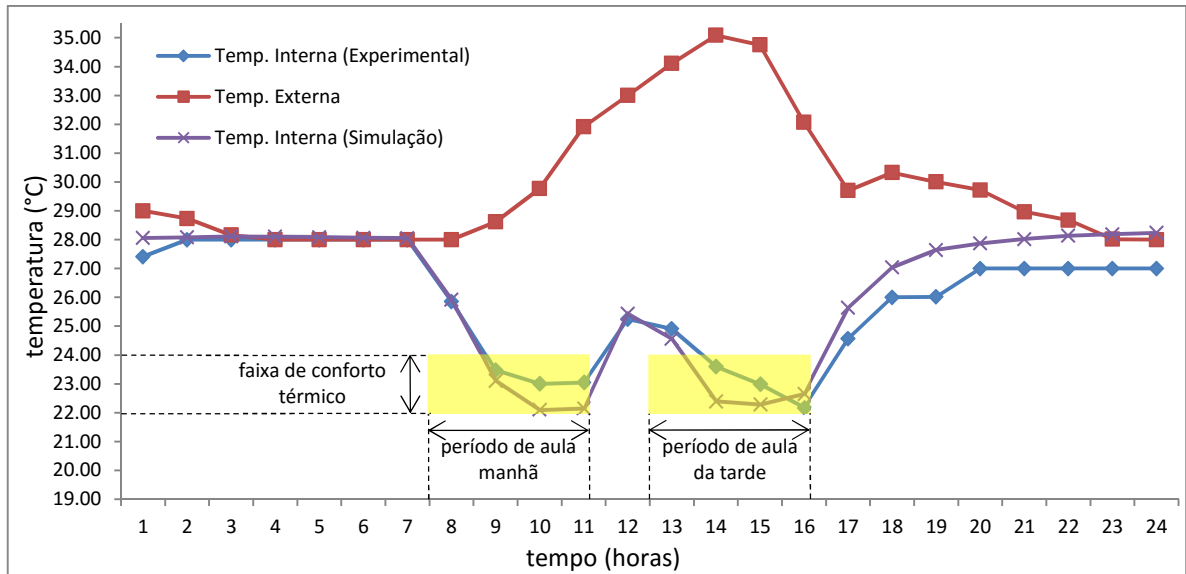


Figura 20 – Valores obtidos no teste experimental e simulação no Cenário 1.

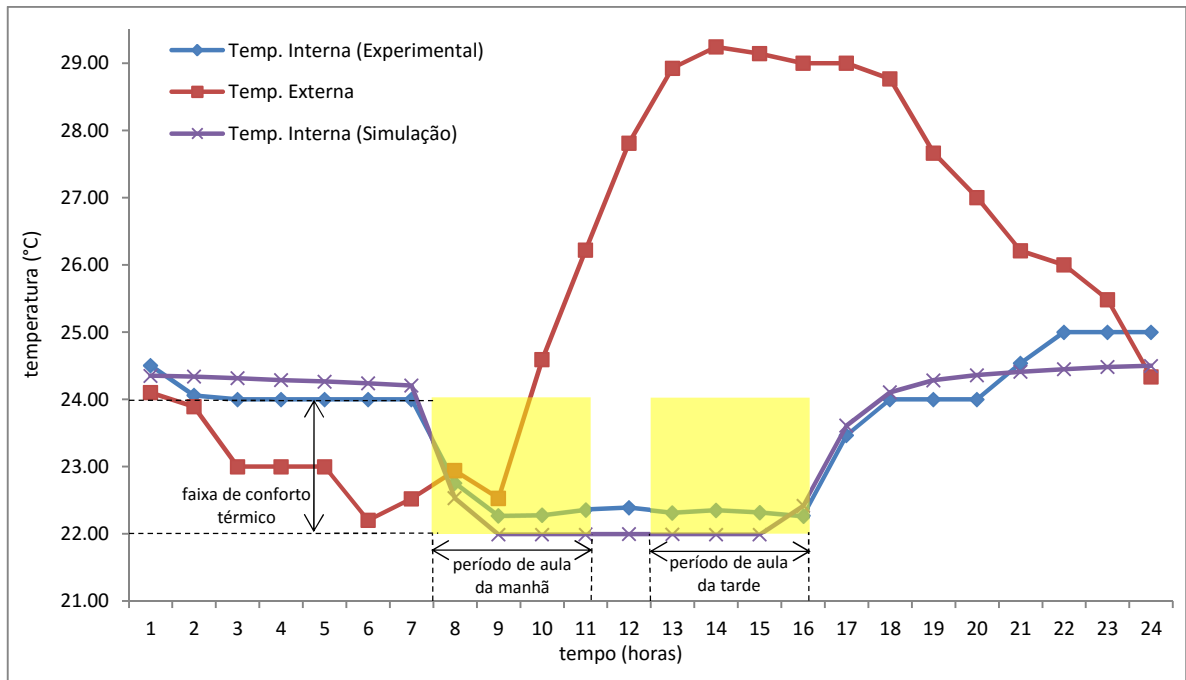


Figura 21 – Valores obtidos no teste experimental e simulação no Cenário 2.

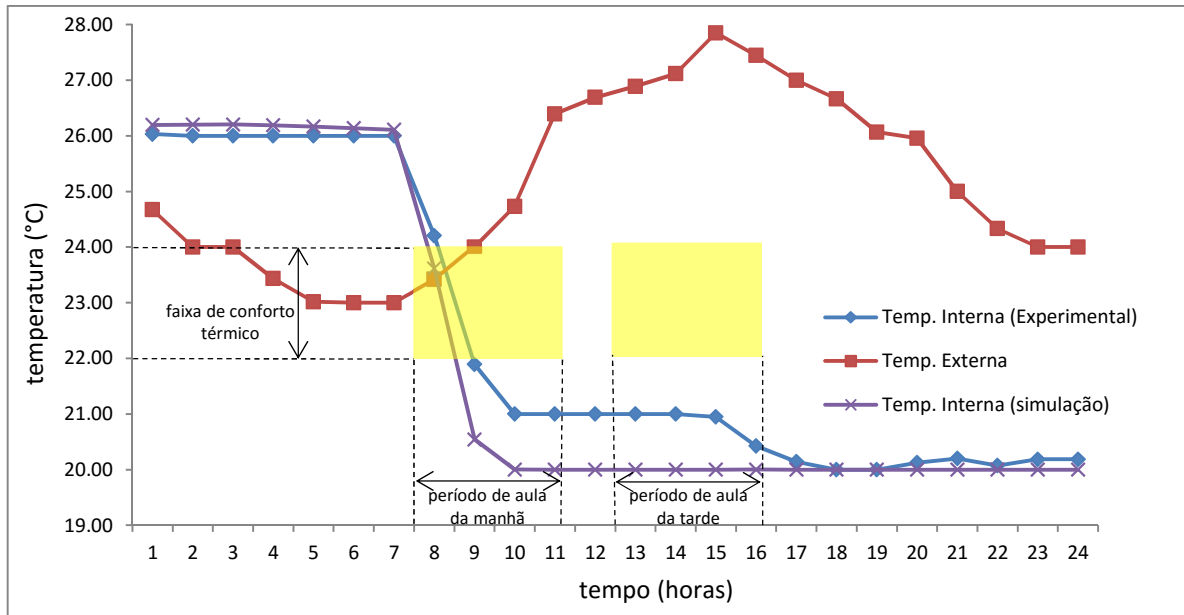


Figura 22 – Valores obtidos no teste experimental e simulação no Cenário 3.

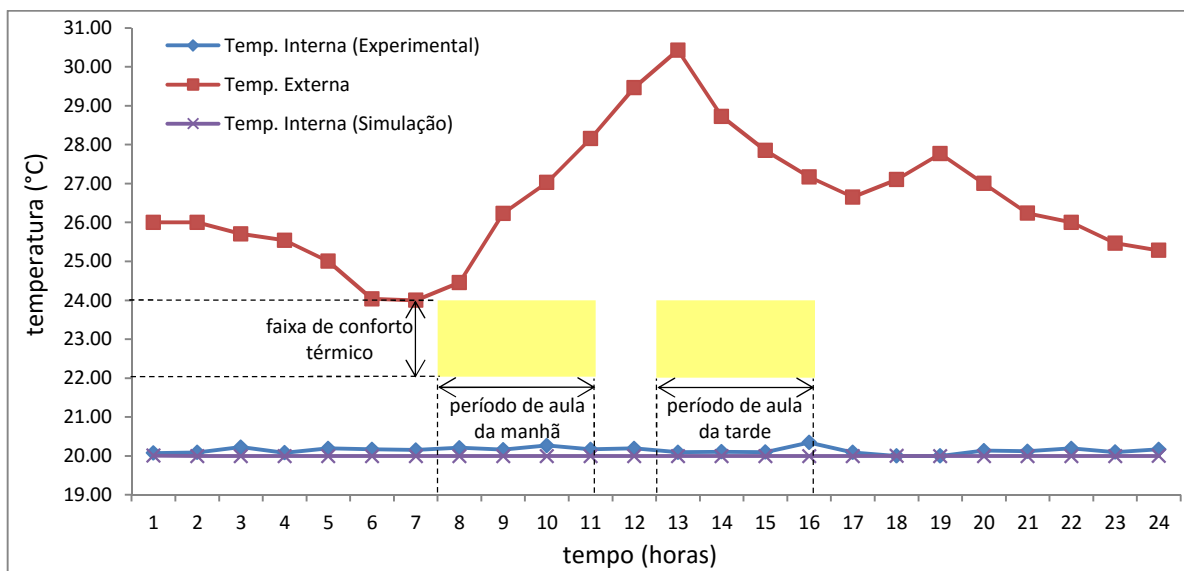


Figura 23 – Valores obtidos no teste experimental e simulação no Cenário 4.

A Figura 24 mostra o consumo de energia diário do sistema de climatização coletado no teste experimental e do obtido na simulação do modelo computacional. Neste cálculo foi retirado o consumo do sistema de iluminação.

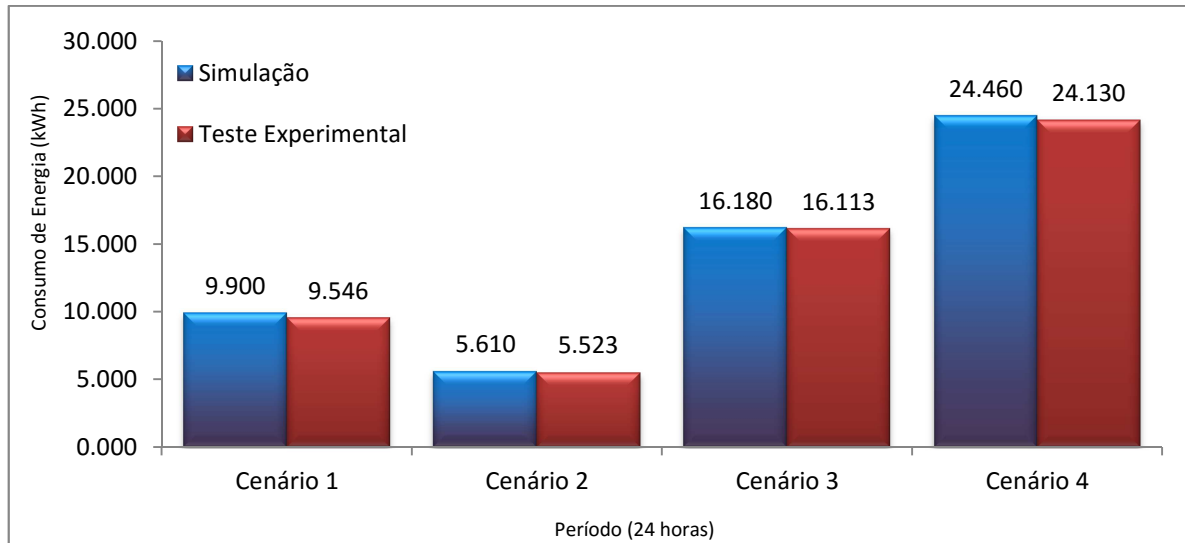


Figura 24 – Consumo de energia do Sistema de Resfriamento do ambiente analisado.

A partir dos resultados obtidos das simulações do modelo computacional e resultados armazenados dos testes experimentais no ambiente inteligente analisado, será realizada a análise de validação do modelo computacional.

5.3.2 Análise dos Resultados

A Figura 25 mostra as curvas das diferenças entre o valor da temperatura interna do modelo computacional e o valor da temperatura interna do teste experimental para cada hora do dia no período das 24 horas, pode-se observar que a diferença máxima foi de cerca de 1,6°C.

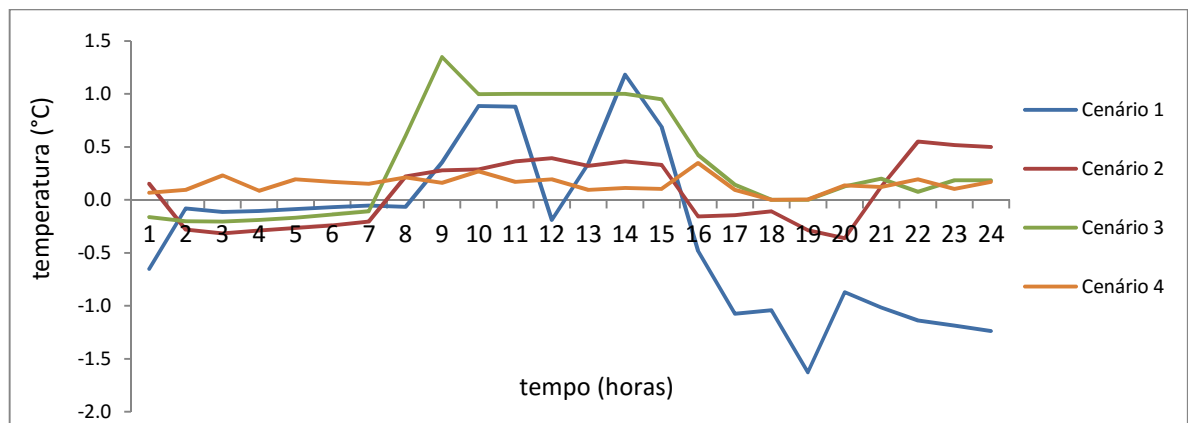


Figura 25 – Diferenças entre as Temperaturas Internas obtidas na Simulação e Experimental.

Além disso, foi calculada a diferença do consumo de energia entre a simulação e o teste experimental. Para calcular esta diferença foi retirado o consumo do sistema de

iluminação. A Figura 26 mostra a porcentagem de diferença entre o consumo de energia do sistema de climatização coletado no teste experimental e do obtido na simulação do modelo computacional.

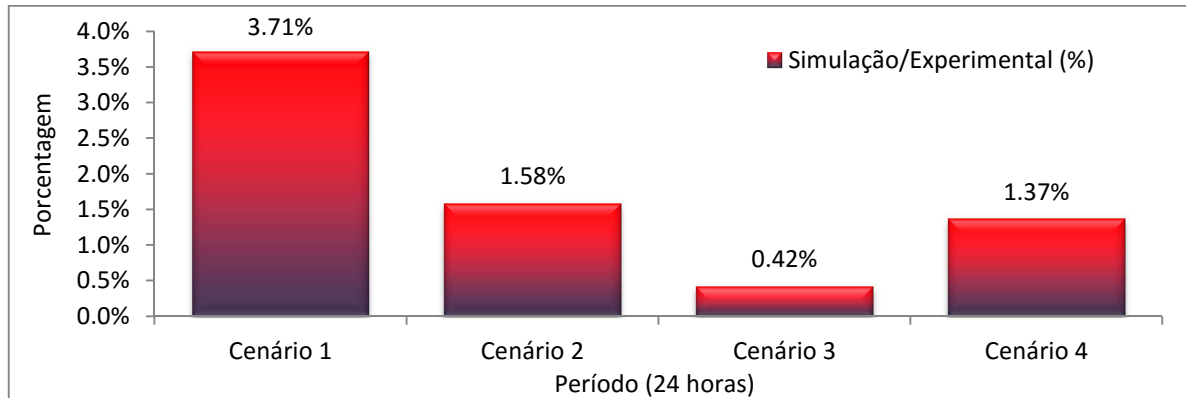


Figura 26 – Diferença no Consumo de Energia do Teste Experimental e Simulação.

A partir da Figura 26, pode-se observar que a diferença do consumo de energia do modelo computacional do ambiente inteligente analisado ficou inferior a 3,8% nos períodos analisados. Alguns fatores contribuíram para estas diferenças entre os testes experimentais no ambiente analisado e o seu modelo computacional, como:

- a falta de informações técnicas da edificação fizeram que fossem utilizados alguns materiais de *default* do software de simulação, assim como as dimensões das camadas dos materiais utilizados nas construção não são precisas;
- a edificação simulada não está localizada exatamente no mesmo ponto onde foi realizada a coleta dos dados meteorológicos usados na simulação. Além disso, pode haver efeito de fatores que foram usados *default* do arquivo meteorológico.

Diante do exposto, onde as curvas resultantes das simulações possuem comportamento bem próximo das curvas reais com relação à subidas/descidas, o erro entre as curvas foram inferiores a 1,63°C e a diferença no consumo de energia ser inferior a 3,8% considera-se o modelo computacional com comportamento térmico e de consumo de energia próximo aos obtidos na análise inicial do ambiente analisado, podendo ser utilizado para este trabalho e também para outras pesquisas futuras.

6 VALIDAÇÃO VIA SIMULAÇÃO

6.1 Validação da Proposta de Melhoria do Conforto Térmico dos Usuários

Nesta etapa de validação da proposta deste trabalho considerou-se que o ambiente estava com ocupação máxima durante todo o período analisado e assumiu-se que tanto o sistema de iluminação quanto os demais equipamentos no ambiente estavam acionados nos intervalos de aula (ou seja, considerou-se a influência destes sistemas na temperatura interna).

A fim de buscar-se que a temperatura interna do ambiente estivesse na zona de conforto durante todo o período das aulas, alterou-se o horário de funcionamento do sistema de climatização, acionando o equipamento em um horário pré-definido antes do início do período de aula e desligando-o em um horário antes do término da aula.

As Figuras 27, 28, 29 e 30 mostram o comportamento das curvas das temperaturas internas obtidas nas simulações em um período de simulação de um mês completo com 31 dias, sendo que para fins de análise foi definido o mês de janeiro, usualmente um dos meses mais quentes do ano. Foram excluídos deste período os finais de semana e feriados, nos quais o sistema de climatização e iluminação estavam desligados.

6.1.1 Resultados

A partir desta etapa considerar-se-á apenas o cenário 1 descrito anteriormente e serão incluídas variações nos instantes de acionamento e desligamento do equipamento de climatização. Para diferenciação entre estas novas situações, utilizar-se-á a denominação cenário1-1, cenário 1-2, e sucessivamente.

A Figura 27 demonstra o comportamento das curvas de temperatura interna do mês, onde se pode observar que o sistema de climatização foi acionado no início da aula, ou seja, às 8:30 e às 13:30. Em todos os casos a temperatura interna estava fora da faixa de conforto térmico no instante de início das aulas e somente cerca de 10 a 20 minutos após o acionamento estas temperaturas entraram na faixa (indicado na figura pelas setas vermelha).

Assim como, após o desligamento do sistema de climatização as 12:10 e 17:10 em alguns caso a temperatura interna permaneceu dentro da faixa de conforto térmico sem ocupação no ambiente.

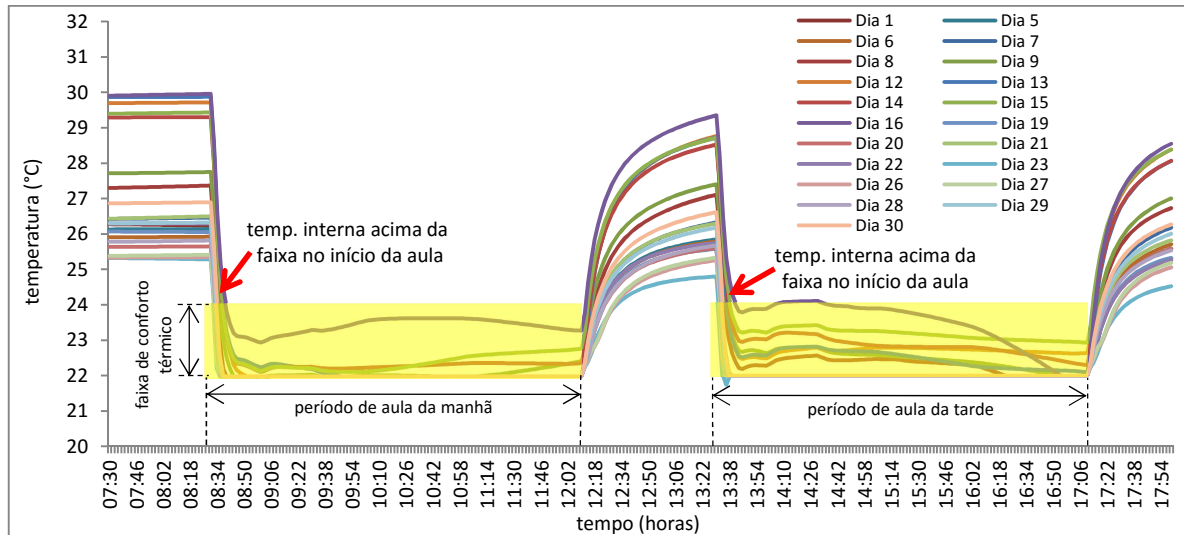


Figura 27 – Temperatura Interna na Simulação do cenário 1.

O cenário 1-1 é a primeira simulação que considera o deslocamento no funcionamento do sistema de climatização, sendo que o primeiro período compreende o intervalo das 8:00 até as 11:40 e o segundo período das 13:00 até as 16:40. Ou seja, neste cenário desloca-se em 30 minutos os instantes de ativação e desligamento do sistema de climatização, buscando-se fazer com que a temperatura interna já se encontre dentro da zona de conforto no início da aula e permaneça assim durante todo o período da aula. Pode-se observar pela Figura 28 que o acionamento antecipado do sistema de climatização em 30 minutos fez com que a temperatura interna estivesse dentro da faixa de conforto térmico em todos os casos (indicado na figura pelas setas verde). No entanto, o desligamento do sistema antecipado em 30 minutos, em ambos os períodos de aula, fez com que a temperatura interna aumentasse acima da faixa de conforto térmico em poucos minutos (indicado na figura pelas setas vermelha). Isso ocorreu devido a ocupação máxima de usuários no ambiente gerando considerável fonte de calor interna nestes 30 minutos finais de aula sem o sistema de climatização, não atendendo o objetivo da proposta.

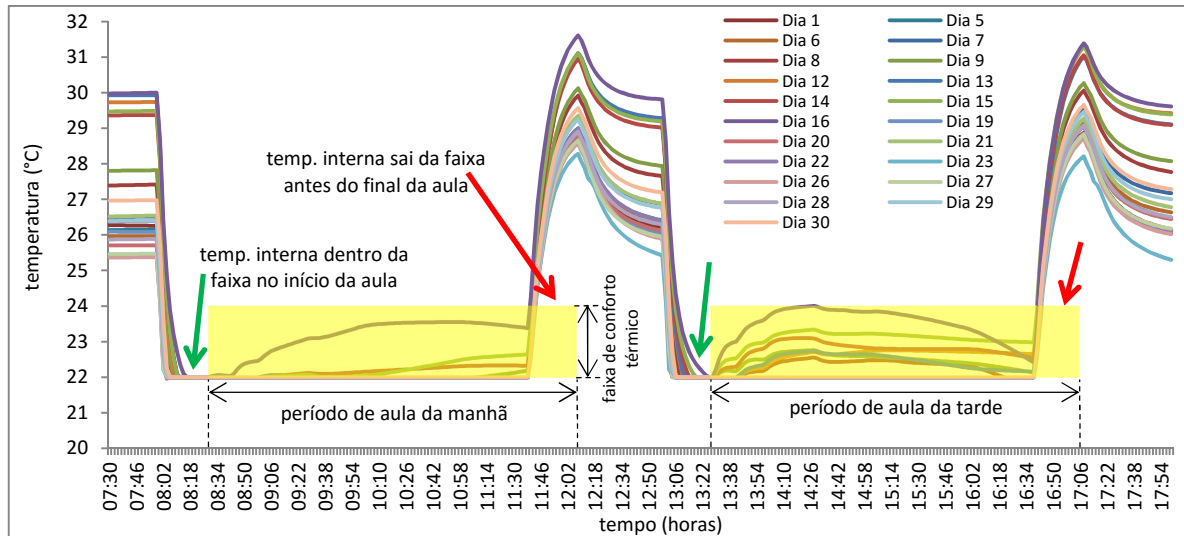


Figura 28 – Temperatura Interna na Simulação do cenário 1-1.

O cenário 1-2 é a segunda simulação que considera o deslocamento no funcionamento do sistema de climatização, sendo que o primeiro período compreende o intervalo das 8:00 até as 12:10 e o segundo período das 13:00 até as 17:10. Ou seja, neste cenário deslocam-se em 30 minutos os instantes de ativação do sistema de climatização, diferenciando do cenário anterior (cenário 1-1) pelo fato de não antecipar o desligamento do mesmo. Pode-se observar pela Figura 29 que com o desligamento do sistema de climatização no final dos períodos de aula fez com que a temperatura interna em todos os dias simulados estivesse dentro da faixa de conforto térmico em todo o período de aula (indicado na figura pelas setas verde). Desta forma foi atendido o objetivo desta etapa da proposta, no entanto, verificou-se que antecipando em 30 minutos o acionamento do sistema de climatização fez com que a temperatura interna do ambiente entrasse na faixa de conforto térmico em torno de 18 minutos antes do início da aula (indicado na figura pelas setas vermelha). Isso ocorreu pelo fato do ambiente estar sem ocupação de usuários neste período (sem fonte de calor interno), fazendo com que a temperatura chegasse rapidamente ao valor de *setpoint*.

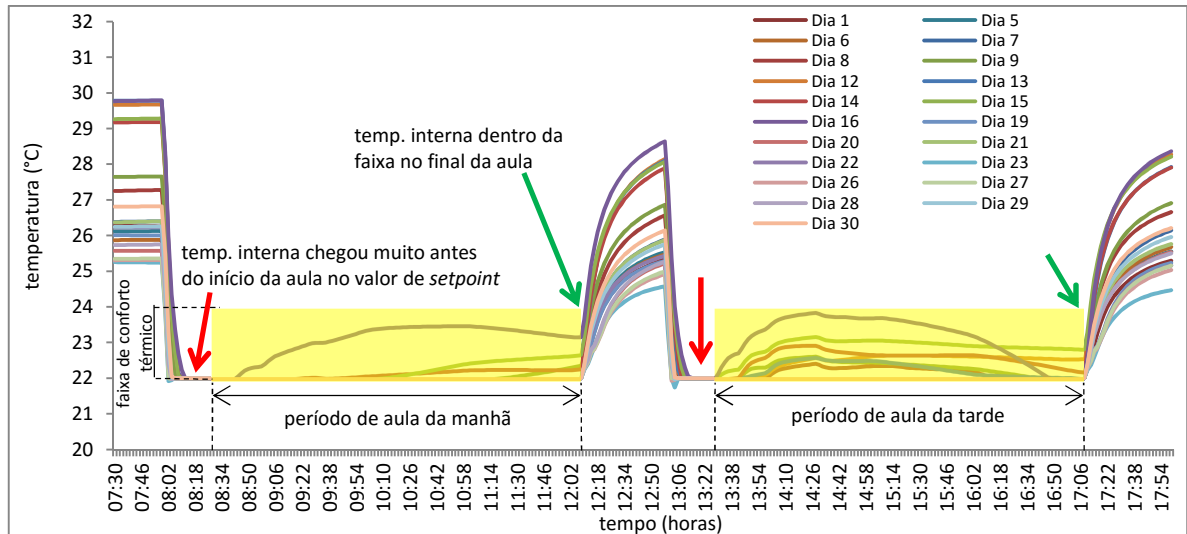


Figura 29 – Temperatura Interna na Simulação do cenário 1-2.

O cenário 1-3 é a terceira simulação que considera o deslocamento no funcionamento do sistema de climatização, sendo que o primeiro período compreende o intervalo das 8:15 até as 12:10 e o segundo período das 13:15 até as 17:10. Ou seja, neste cenário diferenciando do cenário anterior (cenário 1-2) deslocam-se em 15 minutos os instantes de acionamento do sistema de climatização. Pode-se observar pela Figura 30 que a simulação com esta configuração continua atendendo o objetivo desta etapa da proposta, diminuindo no início dos acionamentos o tempo em que a temperatura interna entra na faixa de conforto térmico de forma desnecessária antes do início da aula.

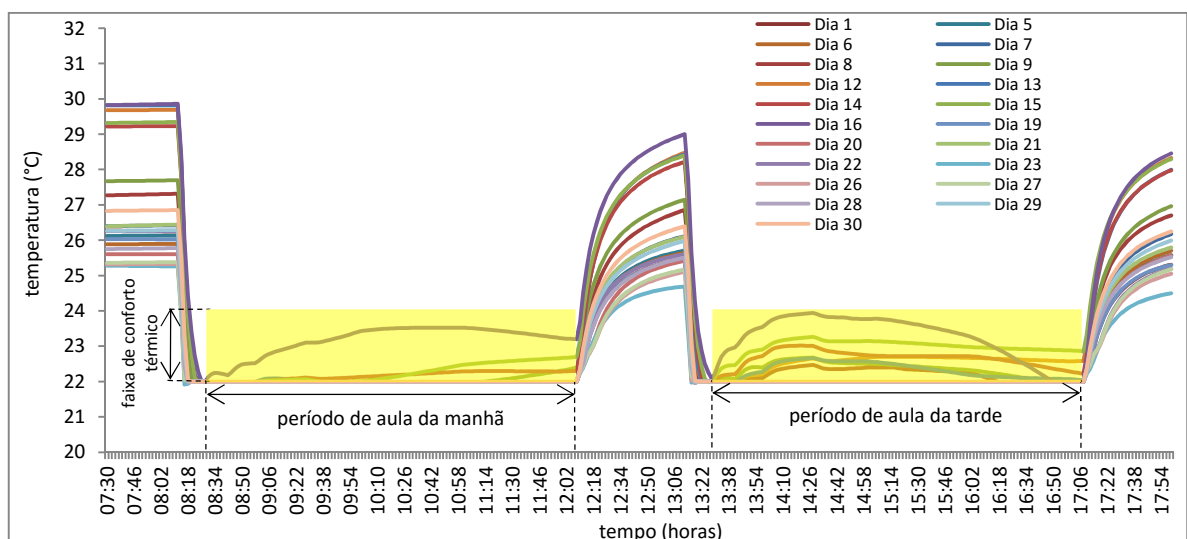


Figura 30 – Temperatura Interna na Simulação do Cenário 1-3.

Pode-se observar na Tabela 8 que houve uma redução no consumo de energia do primeiro cenário simulado (cenário 1) para o segundo cenário (cenário 1-1). No entanto, diminui o período em que o ambiente permaneceu dentro da faixa de conforto térmico de cerca de 90% para cerca de 88% do tempo dentro da faixa. Já a terceira simulação (cenário 1-2) atendeu o objetivo desta etapa, no entanto aumentou o tempo de funcionamento do sistema de climatização e conseqüentemente aumento 29,47 kW·h no consumo de energia em relação à primeira simulação (cenário 1). Por fim pode se observar que a quarta simulação (cenário 1-3) que mesmo reduzindo 30 minutos no tempo de funcionamento do sistema de climatização por dia em relação a terceira simulação (cenário 1-2) continuou atendendo os objetivos da etapa, no entanto ainda houve aumento no consumo de energia de 17,21 kW·h em relação à primeira simulação (Cenário 1).

Tabela 8 – Comparação dos cenários simulados 1, 1-1, 1-2 e 1-3.

Cenário	Descrição do cenário	Tempo de funcionamento do sistema de climatização por dia (2 períodos de aula)	Consumo de energia elétrica da sala (kW·h/mês)	Período dentro da faixa de conforto térmico no horário de aula
cenário 1	Sistema de climatização acionado no início da aula e desligado no final da aula.	7h20min	548,20	~90%
cenário 1-1	Sistema de climatização acionado 30 minutos antes do início da aula e desligado 30 minutos antes do final da aula.	7h20min	526,15	~88%
cenário 1-2	Sistema de climatização acionado 30 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula.	8h20min	577,67	100%
cenário 1-3	Sistema de climatização acionado 15 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula.	7h50min	565,41	100%

6.1.2 Análise dos Resultados

A partir dos resultados obtidos nesta etapa, foi possível observar que comparando os resultados da simulação do modelo computacional antes das alterações propostas (cenário 1) com os resultados da simulação que melhor atendeu depois das alterações da primeira etapa

(cenário 1-3) verificou-se que a obtenção do objetivo de que a temperatura interna permanecesse na região de conforto 100% do tempo de operação somente foi possível com um aumento no consumo de energia. Assim sendo, passou-se a investigar-se formas de melhorar a eficiência energética sem prejuízo da questão do conforto térmico.

6.2 Validação da Proposta de Melhoria da Eficiência Energética

Para a validação utilizou-se o algoritmo descrito na seção 4.4.1 (equações 1 a 3), sendo que os parâmetros utilizados no algoritmo da estratégia que determina o valor de *setpoint* de resfriamento foram definidos da seguinte forma:

- limites inferior e superior da faixa de conforto térmico que são 22°C ($MenTR$) e 24°C ($MaiTR$);
- faixa de variação do *setpoint* em função do valor da temperatura externa, que são 22°C ($MenTE$) e 24°C ($MaiTE$).

Como as duas faixas são iguais, $MenTR = MenTE$ e $MaiTR = MaiTE$, o valor do *setpoint* de resfriamento pode variar seu valor a partir da variação do valor da temperatura externa em toda a faixa do conforto térmico, conforme as equações 2 e 3.

A Fig. 31 busca ilustrar este comportamento que ao iniciar a aula às 8:30 o valor de *setpoint* inicia com o valor de 22°C ($MenTR$) e permanece com este valor até as 10:00, neste instante a temperatura externa que está aumentando atinge o valor de 22°C ($MenTE$) e o valor de *setpoint* passa a aumentar conforme valores definidos pela equação (1) até às 11:00, instante no qual a temperatura externa que continuava aumentando atinge o valor de 24°C ($MaiTE$). Nesta situação o valor de *setpoint* também atinge o valor de 24°C ($MaiTR$) e permanece neste valor até o final do período da aula às 12:10. Além disso, o valor do *setpoint* será igual ao valor da temperatura externa dentro da faixa de conforto térmico.

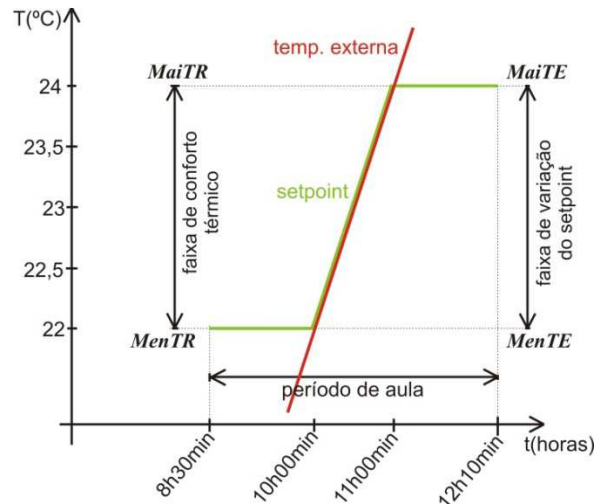


Figura 31 – Exemplo de comportamento da estratégia proposta com $MenTR = MenTE$ e $MaiTR = MaiTE$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validação desta proposta, a mesma foi aplicada ao ambiente com a mesma configuração do cenário 1-3, que considera o acionamento do sistema de climatização 15 minutos antes do início das aulas, e desliga o sistema de climatização no final da aula.

Assim como nos cenários da validação anterior, configurou-se a capacidade máxima de ocupação do ambiente do modelo em todo o período de aula. Para o funcionamento do sistema de iluminação e equipamentos considerou-se o acionamento no início da aula, e desligamento no final da aula. O valor de *setpoint* de resfriamento do sistema de climatização do modelo computacional será ajustado durante o período de co-simulação conforme estratégia proposta.

A Figura 32 mostra o comportamento das curvas das temperaturas internas obtidas na simulação do cenário. Nesta etapa também está sendo utilizado o mesmo período de simulação da etapa anterior (31 dias de Janeiro). Pode se observar que a curva da temperatura interna se manteve dentro da faixa do conforto térmico em todos os dias do período de simulação, com exceção de uma curva que aumentou acima dos 24°C entre o horário das 14h e 14:30 aproximadamente, neste caso o sistema de climatização não suportou as altas temperaturas externas e a máxima capacidade de usuários no ambiente, não conseguindo manter a temperatura interna dentro da faixa.

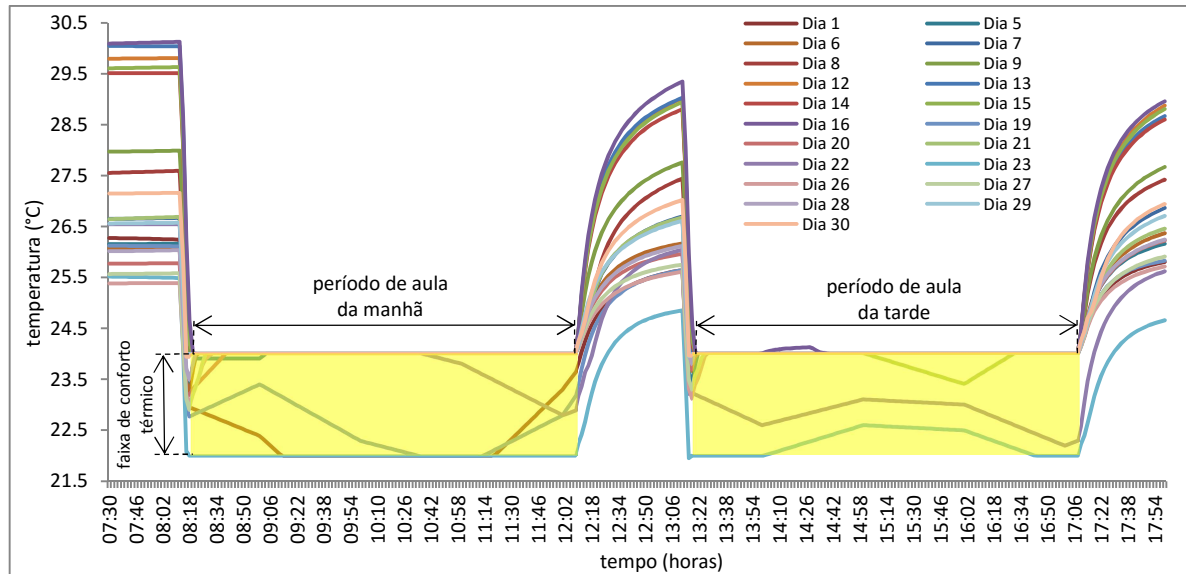


Figura 32 – Temperatura Interna na Simulação do cenário 1-4.

A Tabela 9 demonstra a comparação dos consumos de energia do modelo computacional obtidos nas simulações dos cenários 1, 1-3 e 1-4, pode se observar que nesta etapa de validação o sistema de climatização manteve o mesmo tempo de funcionamento (7:50), no entanto, houve uma redução no consumo de energia pois com a variação do *setpoint* de resfriamento a parte de resfriamento do sistema desligou mantendo somente a ventilação funcionando, além disso pode-se observar que o ambiente esteve com a temperatura interna dentro da faixa de conforto térmico em todo o período da aula.

Tabela 9 – Comparação dos cenários simulados 1, 1-3 e 1-4.

(Continua)

Cenário	Descrição do cenário	Tempo de funcionamento do sistema de climatização por dia (2 períodos de aula)	Consumo de energia elétrica da sala (kW·h/mês)	Período dentro da faixa de conforto térmico no horário de aula
cenário 1	- Sistema de climatização acionado no início da aula e desligado no final da aula. - Setpoint fixo em 22°C.	7h20min	548,20	±90%
cenário 1-3	- Sistema de climatização acionado 15 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula. - Setpoint fixo em 22°C.	7h50min	565,41	100%

(Conclusão)

cenário 1-4	- Sistema de climatização acionado 15 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula. - Setpoint variável entre 22°C e 24°C conforme equação (1).	7h50min	455,08	100%
-------------	--	---------	--------	------

Além disso, foi realizada a simulação anual do cenário onde o sistema de climatização foi acionado no início da aula e desligado no final da aula e *setpoint* fixo em 22°C (cenário 1) e cenário onde o sistema de climatização foi acionado 15 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula e com *setpoint* variável entre 22°C e 24°C conforme equação (1) (cenário 1-4), com o objetivo de se verificar o impacto econômico anual do consumo de energia do modelo deste ambiente analisado. Sabe-se que o Cenário 1 possui as configurações atuais do ambiente analisado e o cenário 1-4 possui as configurações da primeira e segunda etapas da proposta desta dissertação. A Tabela 10 mostra a economia anual entre as duas simulações descritas acima.

Tabela 10 – Economia no Consumo de Energia Elétrica anual em R\$.

Tarifas (valor em R\$ do kWh)		Cenário 1:		Cenários 1-4:		Economia (R\$/ano)
		- Sistema de climatização acionado no início da aula e desligado no final da aula. - Setpoint fixo em 22°C.		- Sistema de climatização acionado 15 minutos antes do início da aula e desligado no final da aula. - Setpoint variável entre 22°C e 24°C conforme equação (1).		
		kWh/ano	R\$/ano	kWh/ano	R\$/ano	
Bandeira Verde	0,45662	3.724,18	1.700,54	3.175,41	1.449,96	250,58
Bandeira Amarela	0,48162		1.793,64		1.529,34	264,30
Bandeira Vermelha	0,51162		1.905,36		1.624,60	280,76

Fonte: Adaptado de COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2015).

As tarifas utilizadas na Tabela 10 estão vigentes desde o dia 02/03/2015, conforme Resolução Homologatória da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 1.858, de

27/02/2015 da classe Poder Público e estão com imposto onde foi acrescido uma alíquota de ICMS de 25%. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015)

6.2.1 Análise dos Resultados

A partir dos resultados obtidos nesta segunda etapa de validação, pode-se verificar que o consumo de energia do sistema de climatização obtido na simulação do modelo computacional antes das alterações foi de 548,20 kW·h e o consumo de energia deste mesmo sistema depois de incluir as alterações propostas neste trabalho foi de 455,08 kW·h, conforme mostra a Tabela 9. Sendo assim, observa-se que houve uma redução de $\pm 17\%$ no consumo de energia do sistema de climatização no período simulado. Desta forma, a configuração do cenário cumpriu o objetivo de melhoria no conforto térmico dos usuários fazendo com que a temperatura interna no ambiente permanecesse dentro da faixa de conforto térmico durante todo o período de aula, conforme mostra a Figura 32. Além disso, cumpriu o objetivo de melhoria na eficiência energética reduzindo o consumo de energia do sistema de climatização na simulação realizada no período de um mês e uma economia que pode chegar a R\$ 280,76 na simulação realizada no período de um ano para uma sala de aula, estudo de caso deste trabalho, conforme mostra a Tabela 10.

7 VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL NA SALA REAL

7.1 Programação do sistema de automação Residencial

Nesta fase do estudo foi incluído o algoritmo com a estratégia de ajuste de *setpoint* de resfriamento no código de aquisição e armazenamento, o código do programa alterado está descrito APÊNDICE J.

A Figura 33 mostra o fluxo de informações entre os sistemas (ajuste de *setpoint* de resfriamento, automação e climatização). Pode-se verificar que a definição do valor de *setpoint* de resfriamento da sala de aula, depende de fatores como: ocupação do ambiente, equipamentos e temperatura externa.

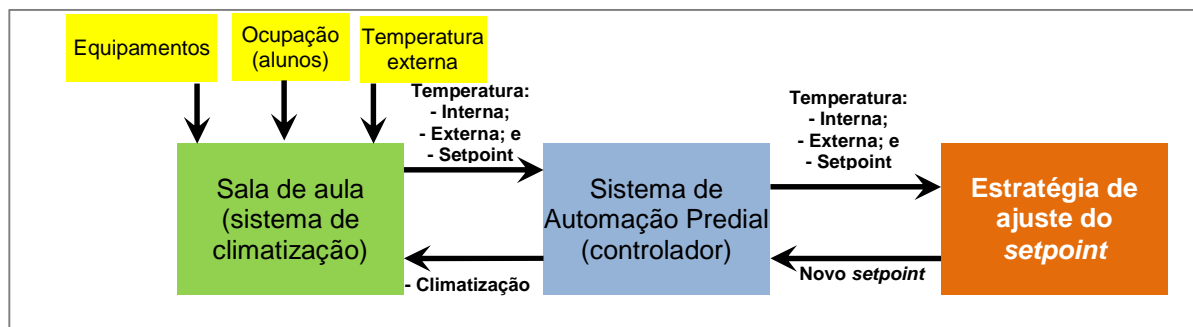


Figura 33 – Arquitetura do Sistema de Automação com a Estratégia Proposta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

7.1.1 Comando de envio de alteração de *setpoint* via *Http*

Após o sistema de ajuste de *setpoint* calcular o novo valor de acordo com a estratégia proposta neste trabalho e com base nos valores recebidos pelo *Systembox* é verificado se o novo valor é diferente ao valor recebido, caso afirmativo, será enviando o comando com o novo valor calculado. O comando para alterar a variável do *setpoint* de resfriamento segue o procedimento detalhado no APÊNDICE A, sendo do tipo:

```

-<http://Systembox-301a.ece/monitor/monitor.cgi?ref_page=set&unit=460&
newvalue=VALORCALCULADO>,

```


onde, *VALORCALCULADO* será o novo valor de *setpoint* que o *Systembox* receberá e enviará para o sistema de climatização que está integrado a ele e a *unit* 460 corresponde à variável do *setpoint*.

7.1.2 Resultados

Esta análise do comportamento da sala de aula real foi realizada em condições normais de uso da sala, onde não se tem o número de ocupação de usuários na sala, potência de equipamentos ligados dissipando calor, se a porta da sala estava aberta ou fechada durante o período de aula.

A estratégia foi integrada ao sistema de automação do ambiente analisado em três dias diferentes. As Figuras 34, 35 e 36 demonstram o comportamento do *setpoint* de resfriamento do sistema de climatização, as temperaturas internas e externas e período de funcionamento da parte de resfriamento do sistema de climatização do ambiente. Na Figura 34 observa-se que os usuários acessaram a sala às 08:15 e permaneceram por cerca de 45 minutos, onde o sistema de climatização foi ativado por cerca de 15 minutos (das 8:45 até às 9:00). Neste período de aula a temperatura externa estava abaixo da faixa de conforto térmico, e por isso, o *setpoint* ficou ajustado em 22°C. Houveram dois períodos de aula em que a temperatura externa estava igual ao limite superior ou acima da faixa de conforto térmico e por isso o valor de *setpoint* estava definido para 24°C. Nestes dois períodos observa-se pela curva (Climatização Ativado/Desativado) que a parte de resfriamento do sistema de climatização foi ativada em 9 intervalos, forçando a temperatura interna a permanecer em 24°C.

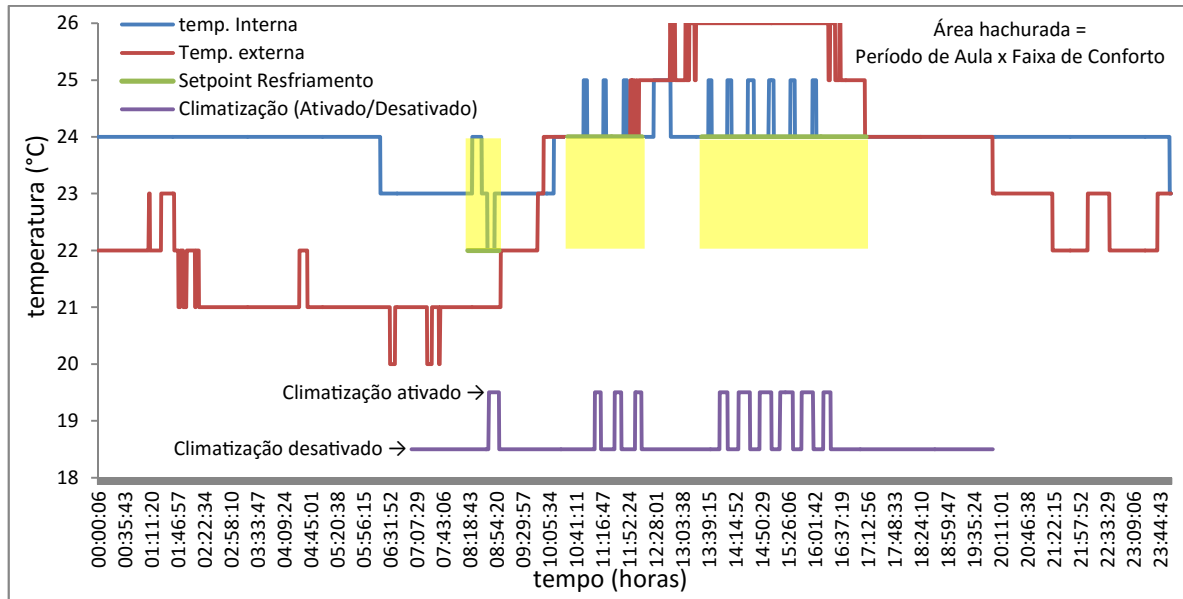


Figura 34 – Temperaturas Internas e Externas e *Setpoint* em uma primeira medição.

Na segunda medição realizada na sala conforme Figura 35, pode-se observar que houve dois períodos (área hachurada) e que dentro destes o valor de *setpoint* variou seu valor conforme foi variando a temperatura externa, no primeiro período o *setpoint* iniciou cerca de 8:00 em 22°C e entre 10:00 e 11:10 passou de 22°C para 24°C assim como a temperatura externa e permaneceu neste valor até o final da aula cerca de 12:15. No período de aula da tarde o *setpoint* iniciou cerca de 13:30 em 24°C entre 14:40 e 16:30 o valor de *setpoint* reduziu seu valor para 22°C acompanhando o valor da temperatura externa. Nestes períodos a parte de resfriamento ativou em 12 intervalos, entretanto se o valor de *setpoint* estivesse fixo em 22°C nestes períodos de aula, a parte de resfriamento teria acionado mais vezes para manter a temperatura interna em 22°C.

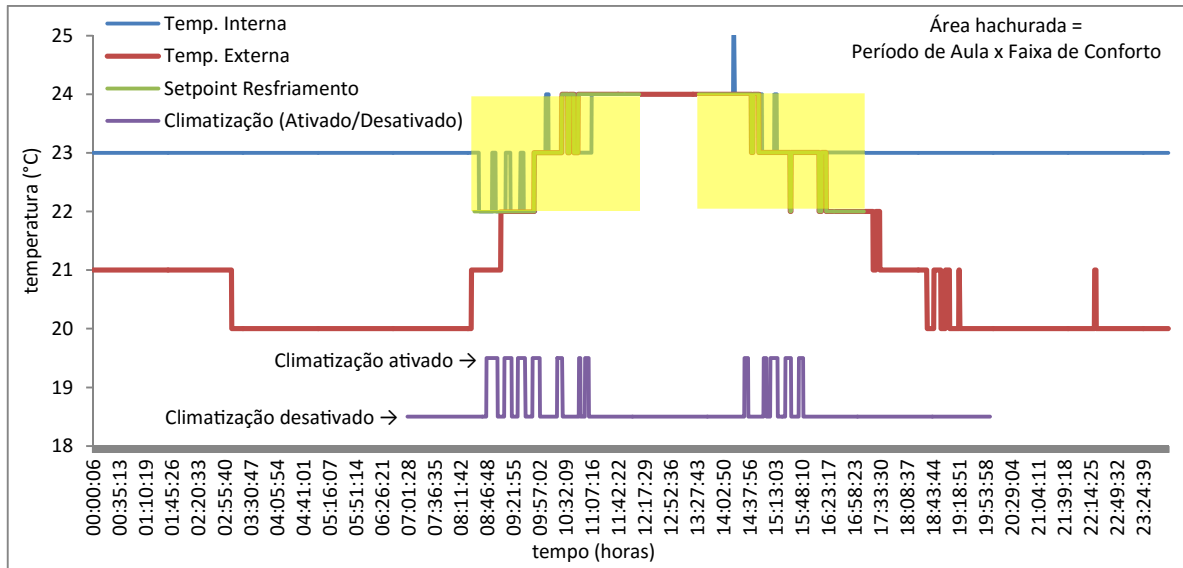


Figura 35 – Temperaturas Internas e Externas e *Setpoint* em uma segunda medição.

Na terceira medição pode-se observar conforme a Figura 36 que houve um período de aula das 8:30 até as 12:10 e o *setpoint* iniciou com o valor 22°C. Por volta das 10:00 a temperatura externa oscilou dentro da faixa de conforto térmico fazendo com que o *setpoint* também variasse. Neste período a parte de resfriamento do sistema de climatização ativou em 8 intervalos, sendo que a partir das 10:00 com o aumento do *setpoint* houve uma redução no tempo de acionamento da climatização. Houve um segundo período de aula entre 21:20 e 22:00, no entanto o sistema de climatização não foi ativado por opção do professor.

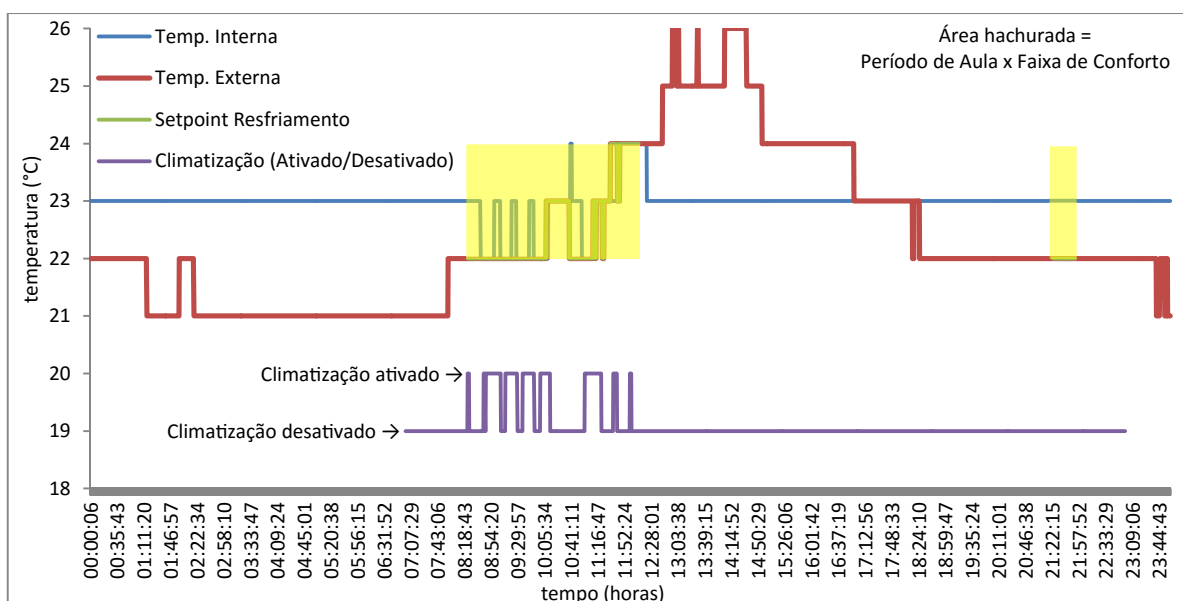


Figura 36 – Temperaturas Internas e Externas e *Setpoint* em uma terceira medição.

7.1.3 Análise dos Resultados

Os resultados do teste experimental mostraram que com a aplicação da estratégia de mudança do setpoint foi possível manter-se a temperatura dentro da zona de conforto, ao mesmo tempo em que houve uma redução do consumo de energia. Sendo assim, foi possível verificar que o sistema de variação de *setpoint* proposto e validado no modelo computacional deste trabalho teve um desempenho conforme esperado.

7.2 Modelo Computacional da Edificação do NERCI

Para complementar o desenvolvimento da proposta foi construído o modelo computacional da futura edificação do Núcleo de Excelência de Redes de Comunicações Industriais (NERCI) com base no projeto arquitetônico existente KREBES², 2010, e trabalho anterior (SOUZA, 2010). Por fim foi realizada a análise do impacto da aplicação da proposta em uma edificação em uma simulação com período de um ano.

Está edificação será construída futuramente na área do Parque Tecnológico localizado no Campus do Vale – UFRGS. A área prevista em projeto é de aproximadamente 670m², com público inicial de 9 professores/pesquisadores, 30 alunos, 2 técnicos, 2 secretárias e mais 30 alunos eventuais, totalizando um público aproximado de 73 pessoas.

O projeto elaborado privilegia os aspectos sustentáveis da construção, principalmente no que possa se refletir em eficiência no desempenho das atividades (menor consumo energético e de água, por exemplo). Sendo assim, para a elaboração do projeto usou-se de simulações computacionais para explorar ao máximo as possibilidades de obtenção de um maior grau de eficiência em energia. Um conceito utilizado na elaboração do projeto fará com que a edificação funcione como um laboratório aberto a novas tecnologias e experimentos, com fácil acesso a todas as instalações. Além disso, esta edificação utiliza conceitos de prédio verde, como por exemplo, o uso de fachadas ventiladas, utilização de proteções nas janelas

² KREBES, C. Projeto Arquitetônico do Prédio Núcleo de Excelência em Redes de Comunicações Industriais. 2010.

nos lados norte e nordeste do prédio junto com vidros duplos, a cobertura do laboratório será um teto verde, o pórtico de entrada do prédio será de concreto com *brise* na vertical, terá vidros refletivos plano simples de baixa reflexão e as telhas serão isoladas com espuma rígida na cobertura.

A edificação possui 23 ambientes que estão detalhados no APÊNDICE K e as características destes ambientes estão descritas no APÊNDICE L, sendo que destes, 17 ambientes são climatizados, também chamados de zonas.

Assim como o ambiente inteligente analisado anteriormente, esta edificação foi simulada no software *EnergyPlus* com o auxílio do software *SketchUp*, a Figura 37 mostra a representação gráfica do modelo computacional da edificação. As informações das propriedades construtivas estão descritos no APÊNDICE M, os materiais utilizados nas paredes, nos pisos, nos tetos, nos telhados e nas divisórias estão descritos no APÊNDICE N.

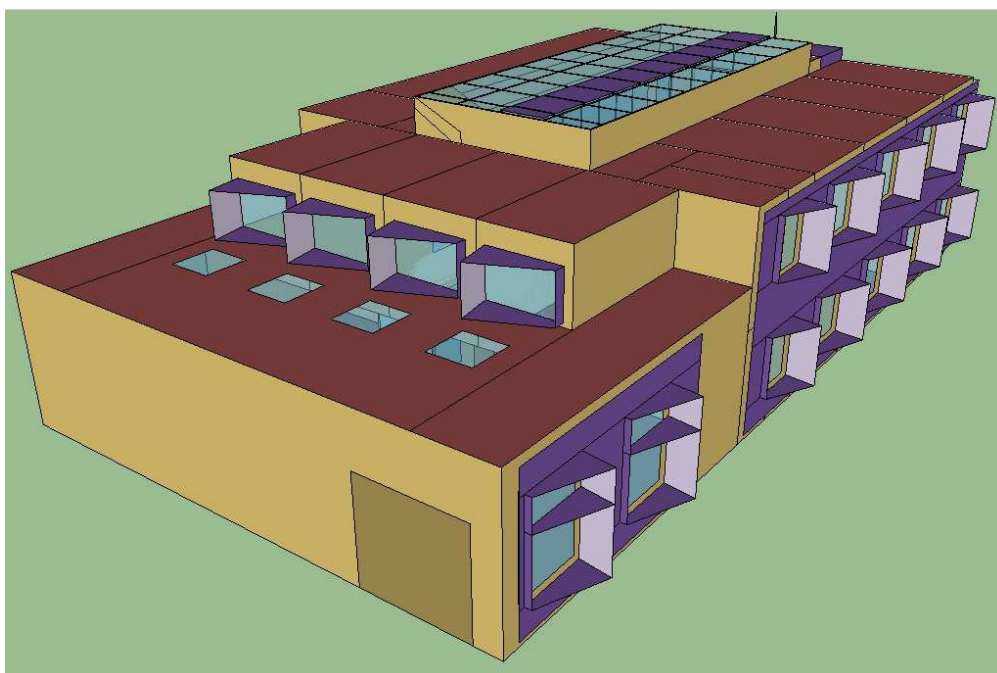


Figura 37 – Modelo computacional da edificação do NERCI.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

As configurações e modelo do sistema de climatização utilizados está especificada conforme ambiente analisado anteriormente, assim o arquivo como os dados metereológicos. A partir disso, foram definidos os cenários para simulação do modelo computacional.

7.3 Análise Via Simulação na Futura Edificação do NERCI

7.3.1 Cenários

Foram criados dois cenários onde o primeiro representa o uso normal de um ambiente de escritório e o segundo cenário se diferencia pelo horário de acionamento do sistema de climatização (etapa de melhoria no conforto térmico) e pelo sistema de ajuste do *setpoint* de resfriamento deste sistema (etapa de melhoria na eficiência energética). Os dois cenários possuem as seguintes configurações:

- o Cenário Base considera o funcionamento dos sistemas de climatização dos 17 ambientes ligados em dois períodos, sendo que o primeiro período compreende o intervalo das 8:00 até as 12:00 e o segundo período das 14:00 até as 18:00. E o *setpoint* de resfriamento dos sistemas de climatização ajustados para o valor fixo de 22° C; e
- o Cenário Proposta considera o funcionamento dos sistemas de climatização dos 17 ambientes ligados em dois períodos, sendo que o primeiro período compreende o intervalo das 7:45 até as 12:00 e o segundo período das 13:45 até as 18:00. E o *setpoint* de resfriamento dos sistemas de climatização variando dentro da faixa de conforto com os mesmos parâmetros definidos para o ambiente analisado.

Em ambos os cenários foram configurados a ocupação do modelo e horários de ocupação, horário do sistema de iluminação e equipamentos dentro dos intervalos usuais de um ambiente de escritório, onde seu horário de funcionamento é das 8:00 até as 12:00 e das 14:00 até as 18:00. A partir disso, foi possível realizar as simulações para posterior comparação dos resultados obtidos.

7.3.2 Resultados

Para verificar o impacto econômico no consumo de energia utilizando a estratégia proposta neste trabalho, realizou-se a simulação dos dois cenários descritos na seção anterior.

A Figura 38 mostra o consumo de energia mensal total da edificação obtido na simulação do Cenário Base, os consumos mensais estão divididos por categoria de consumo e por agrupamentos de categorias, estes agrupamentos estão definidos da seguinte forma:

- Ar-condicionado = Resfriamento + Aquecimento + Ventilação;
- Edificação = Equipamentos + Iluminação;
- Total = Ar Condicionado + Edificação.

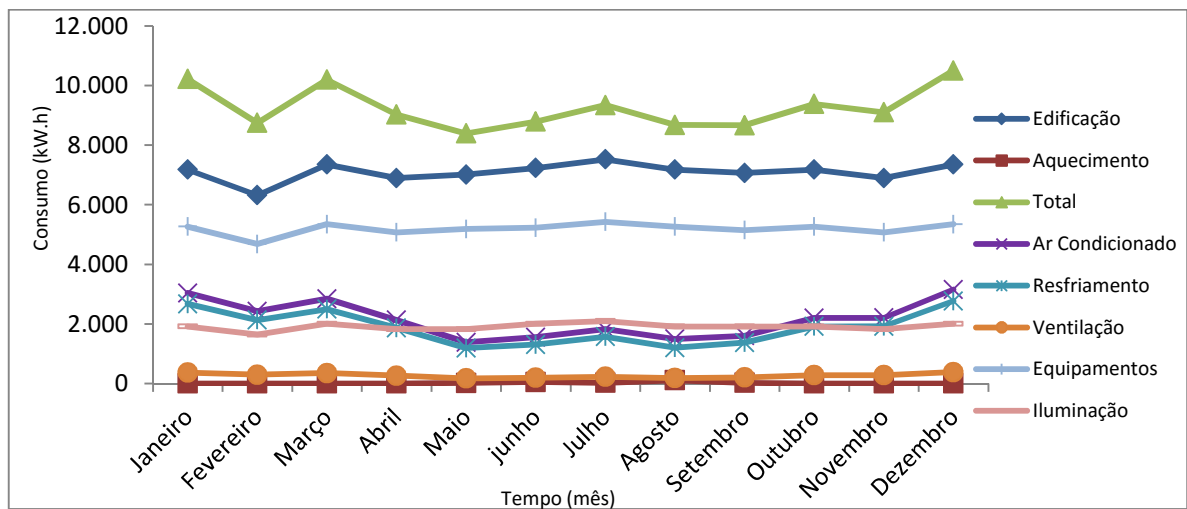


Figura 38 – Consumo Mensal do Cenário Base da Edificação do NERCI.

A Figura 39 mostra o consumo de energia elétrica anual total da edificação obtido na simulação do Cenário Base. Além disso, são mostrados os consumos dos agrupamentos: edificação (iluminação e equipamentos) e ar-condicionado (resfriamento, aquecimento e ventilação).

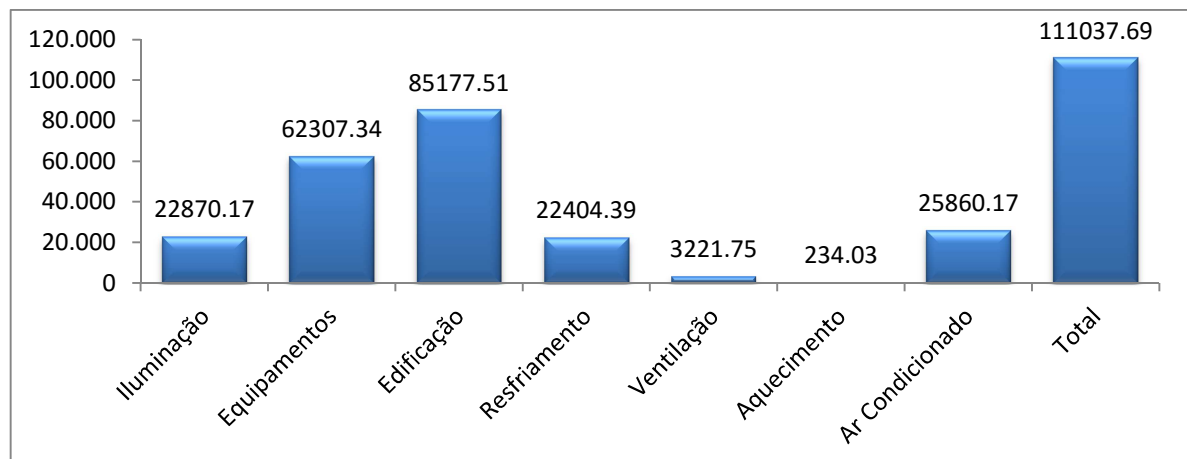


Figura 39 – Consumo de Energia Anual do Cenário Base da Edificação do NERCI.

A Figura 40 mostra o consumo de energia mensal total da edificação obtido na simulação do Cenário Proposta, os consumos mensais estão divididos por categoria de consumo e por agrupamentos de categorias.

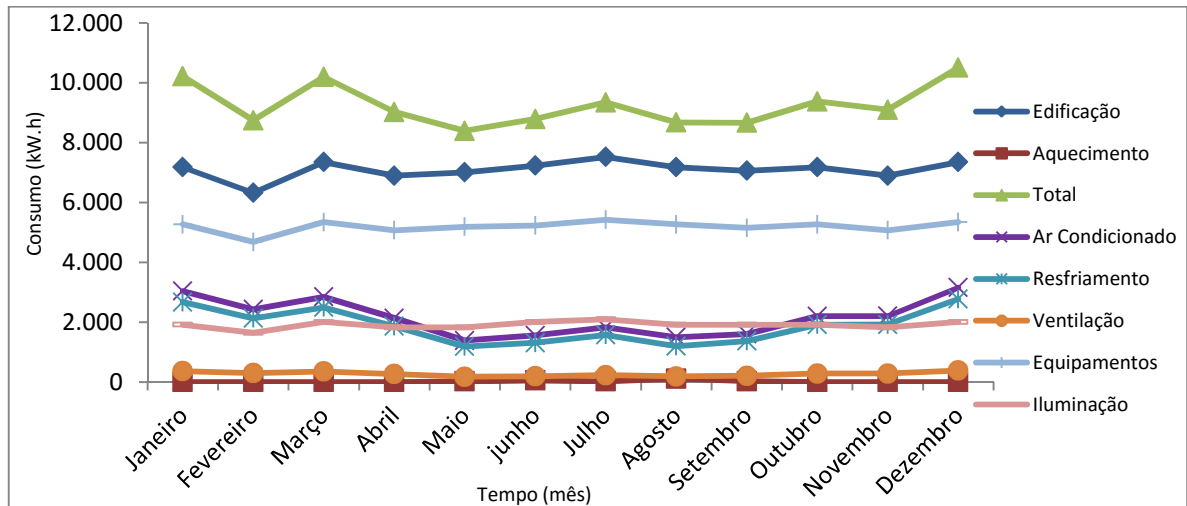


Figura 40 – Consumo Mensal do Cenário Proposta da Edificação do NERCI.

A Figura 41 mostra o consumo de energia elétrica anual total da edificação obtido na simulação do Cenário Proposta. Além disso, são mostrados os consumos dos agrupamentos: edificação (iluminação e equipamentos) e ar-condicionado (resfriamento, aquecimento e ventilação).

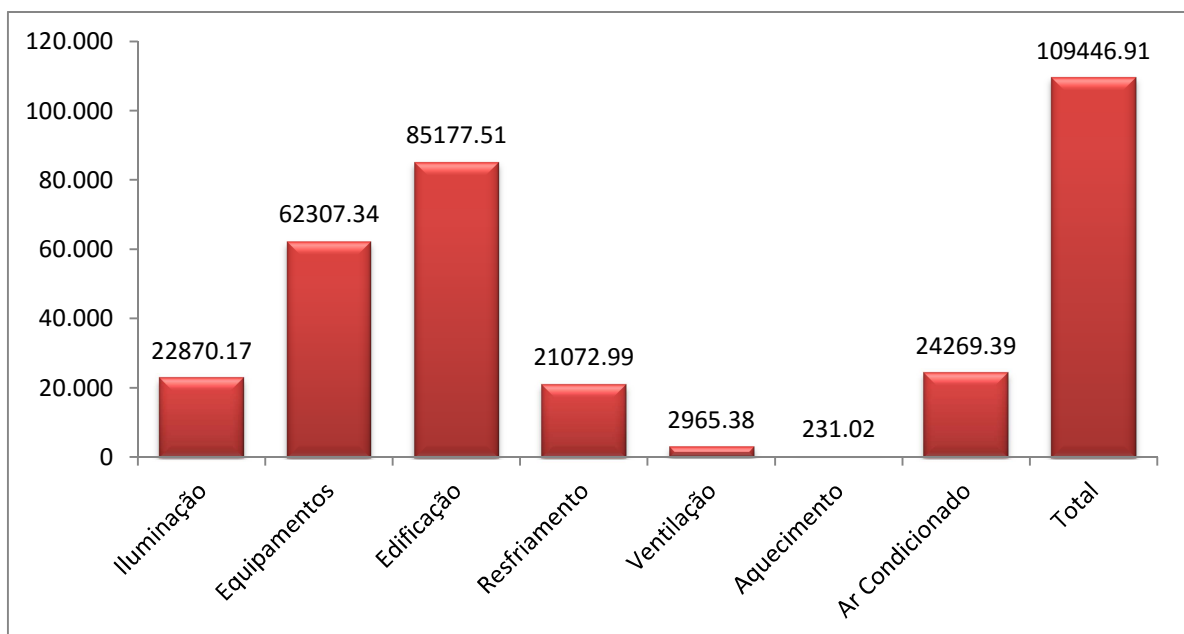


Figura 41 – Consumo de Energia Anual do Cenário Proposta do NERCI (kW.h).

7.3.3 Análise dos Resultados

Na análise comparativa entre os dois cenários simulados, a Figura 42 mostra o consumo de energia anual destes dois cenários, e a redução no consumo de energia entre o Cenário Base e o Cenário Proposta que foi de aproximadamente 6%.

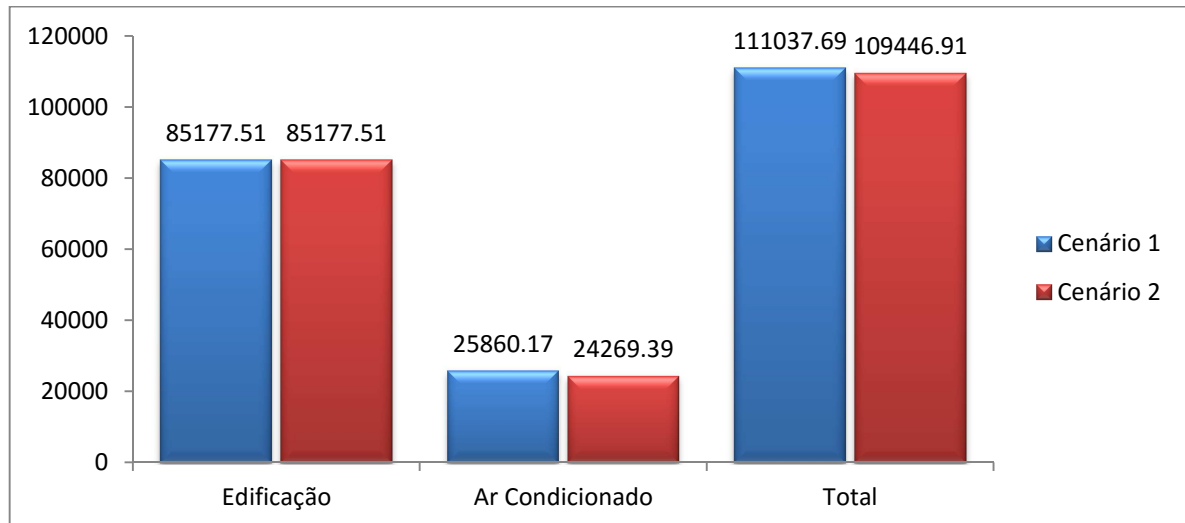


Figura 42 – Consumo de energia nos dois cenários simulados (kW·h).

Como o projeto da futura edificação NERCI possui um conceito de prédio verde com fachadas ventiladas, *brises* nas janelas vidros duplos, teto verde no laboratório, entre outros detalhes projetados, a redução no consumo total da edificação teve um valor reduzido. Mesmo assim, pode-se observar pela Tabela 11 que a economia no consumo de energia anual da edificação se considerarmos, por exemplo, que as doze faturas de energia estejam com bandeira vermelha, seria de R\$ 813,87.

Tabela 11 – Impacto no consumo de energia no sistema de climatização anual em R\$.

Tarifas (valor em R\$ do kW·h)		Cenário 1		Cenário 2		Economia (R\$/ano)
		kW·h/ano	R\$/ano	kW·h/ano	R\$/ano	
Bandeira Verde	0,45662	25.860,17	11.808,27	24.269,39	11.081,89	726,38
Bandeira Amarela	0,48162		12.454,78		11.688,62	766,15
Bandeira Vermelha	0,51162		13.230,58		12.416,71	813,87

Fonte: Adaptado de COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2015).

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

8.1 Conclusões

Este trabalho propôs investigar o problema de pesquisa relacionado a soluções que contribuam para melhorar a eficiência energética e o conforto térmico de ambientes inteligentes, considerando como escopo sistemas de automação inteligentes em edificações. Nesse sentido, constituiu-se o objetivo geral do estudo que foi realizar a análise do uso de estratégias de automação que possibilitassem a redução no consumo de energia sem prejudicar o conforto térmico dos usuários de um ambiente climatizado e automatizado.

Na primeira etapa foi realizada uma análise do comportamento do ambiente de estudo de caso e concluiu-se que seria possível melhorar as condições de eficiência energética da sala e também melhorar o conforto térmico dos usuários. Foi necessária a criação de um modelo computacional da sala, pois não seria possível realizar análise comparativa entre cenários diferentes no ambiente real, pois estas teriam que ser realizadas em dias diferentes e muitas variáveis não se repetiriam de um dia para outro. A partir da validação do modelo computacional da sala de aula verificou-se que o mesmo atendeu a expectativa proposta, pois ao analisar as curvas resultantes das simulações observou-se que seus comportamentos foram bem próximos às curvas reais sob o ponto de vista das subidas/descidas, conforme a análise comparativa devido as diferenças entre elas serem inferiores a 1,63°C e as diferenças nos consumos de energia serem todas inferiores a 3,8%. Assim, concluiu-se que o comportamento térmico e de consumo de energia do modelo computacional foi bem próximo aos obtidos nos testes experimentais da sala.

Na segunda etapa foram atendidas as expectativas na aplicação da estratégia de deslocamento do horário de funcionamento do sistema de climatização para atender a melhoria no conforto térmico, pois na análise comparativa verificou-se que inicialmente a temperatura da sala estava $\pm 90\%$ do tempo dentro da faixa do conforto térmico e após a

aplicação da estratégia passou para 100% do tempo. Contudo, houve um aumento no consumo de energia na simulação realizado no modelo computacional, pois a antecipação do acionamento do equipamento aumentou o tempo de funcionamento do sistema de climatização o que acarretou no aumento do consumo não havendo assim uma melhora na eficiência energética, conclui-se que somente a utilização desta estratégia atenderia em parte o objetivo geral deste trabalho.

Na terceira etapa a aplicação da estratégia de ajuste do valor de setpoint de resfriamento do sistema de climatização foi utilizada para atender a melhora na eficiência energética da sala, onde pela análise comparativa dos resultados observou-se que houve uma redução de $\pm 17\%$ no consumo de energia do sistema de climatização na simulação realizada no modelo computacional. Desta forma, concluiu-se que com a aplicação das duas estratégias utilizadas cumpriu-se o objetivo de melhoria no conforto térmico dos usuários fazendo com que a temperatura interna no ambiente permanecesse 100 % do tempo dentro da faixa de conforto térmico e cumpriu-se o objetivo de melhoria na eficiência energética reduzindo o consumo de energia do sistema de climatização na simulação realizada.

Diante do exposto, considera-se que o trabalho de pesquisa atendeu o objetivo geral proposto que visava realizar a análise comparativa do uso de estratégias para melhorar a eficiência energética, reduzindo o consumo de energia de um ambiente climatizado e automatizado sem prejudicar o conforto térmico dos usuários deste ambiente. Por meio dos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa é possível inferir que o modelo computacional da sala de estudo de caso pode ser utilizado para dar continuidade na área pesquisada e para outros trabalhos futuros, além disso, a utilização de estratégias que auxiliem no gerenciamento de ambientes inteligentes contribui para um aumento da eficiência energética reduzindo o consumo de energia sem afetar o conforto térmico dos usuários, sendo possível mantê-lo ou melhorá-lo. Além do exposto, cabe complementar que estratégias que auxiliem

no gerenciamento de ambientes inteligentes podem contribuir para a melhoria de projetos que já são considerados energeticamente eficientes, conforme observado na análise comparativa realizada no projeto da futura edificação do NERCI que possui um conceito de prédio verde e teve uma redução no consumo de energia com a aplicação das estratégias validadas de $\pm 6\%$ na simulação anual realizada no modelo computacional.

8.2 Trabalhos Futuros

Como proposta para estudos futuros sugere-se:

- estudo de integração de fontes de energias alternativas no sistema de automação e estratégia proposta neste trabalho, com o objetivo de diminuir o consumo por parte da concessionária, reduzindo ainda mais os custos com energia elétrica;
- estudo de integração da estratégia proposta com sistemas de gerenciamento de energia;
- estudo de melhoria da estratégia proposta, como implementação de uma interface com o usuário para interação do usuário com os parâmetros de configuração das estratégias utilizadas;
- estudo de melhoria da estratégia utilizada, com o objetivo de melhorar o conforto térmico e redução de energia, integrando outros fatores que influenciam no conforto como umidade e luminosidade, incluindo no sistema de automação sensores de umidade e luminosidade, além de cortinas automatizadas, dimerização da iluminação para diminuir o consumo de energia e melhorar ainda mais a eficiência energética do ambiente automatizado; e
- estudo para inclusão na estratégia proposta de dados meteorológicos em tempo real com o objeto de melhorar as estratégias de gerenciamento do sistema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho Térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalação de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

AGARWAL, Y. et al. Occupancy-Driven Energy Management for Smart Building Automation. In: ACM WORKSHOP ON EMBEDDED SENSING SYSTEMS FOR ENERGY-EFFICIENCY IN BUILDING (BUILDSYS'10), 2., 2010, Zurich, Switzerland. **Proceedings...** New York: ACM, 2010. p. 1-6.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Homologatória Nº 1.858 de 27 de fevereiro de 2015**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh20151858.pdf>>. Acesso em jun. 2015.

ARDUINO. **Arduino**. Disponível em: <<http://www.Arduino.cc/en/Main/Products>> . Acesso em: 14 maio 2015.

ARKIN, H.; PACIUK, M. Service system integration in intelligent buildings. In: INTELLIGENT BUILDING CONGRESS, 1., 1995, Tel-Aviv. **Proceedings...** Tel-Aviv: IB/IC, 1995. p. 19-30.

ARTECONI, A.; HEWITT, N.J.; POLONARA, F. Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems, **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 51, n. 1-2, p. 155-165, Sept. 2013.

BALTAR, M. G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica Utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, 2006.

BCSD PORTUGAL. **Manual de boas práticas de eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2014/02/Manual-Eficiencia-Energética.pdf>>, Acesso em: 31 de maio 2015.

BERKELEY LAB. **What's Energy Efficiency?**. Lawrence Berkeley National Laboratory. Disponível em: <<http://eetd.lbl.gov/ee/ee-1.html>>. Acesso em: 08 de jul. 2015.

BRAGA, L. C.; POLITO BRAGA, C. M.; BRAGA, A. R. Estudos Preliminares para Projetos de Automação Predial com Eficiência Energética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2., 2007, Vitória. **Anais...** Vitória: CBEE/ABEE, 2007, p. 1-6.

CASTRO, M. N.; JOTA, F. G.; ASSIS, E. S. A Automação como Ferramenta para Eficiência Energética em Edificações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 1., 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBEE/ABEE, 2005. p. 268-273.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa e Custos de Serviços.**

Disponível em: <http://www.cee.com.br/pportal/cee_e/archives/Tabela%20Grupo%20B%20marco%202015.pdf>. Acesso em: 18 de jun. 2015.

CHOW, L. **The Intelligent Building Index 10: Health and Sanitation.** Hong Kong: Asian Institute of Intelligent Buildings, 2004.

DAL'BELLO, D. **Integração de cadeira de rodas com sistemas de automação predial-residencial.** 2015. 45f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

EMBRASULINDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA. **Manual de Instalação e Operação: Analisador de energia RE4000.** Rev. A02. 2008. 18 p. Disponível em: <http://www.vectus.com.br/resources/pdf/Manual_RE4000_subir.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Série Estudos de Demanda Nota Técnica DAE 16/12 Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos (2012-2021).** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20121221_1.pdf>. Acesso em: 31 de maio 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de energia Elétrica 2014, ano base 2013.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 08 de abr. 2015.

FALCÃO, D. M. Smart Grid e Microredes: O Futuro Já é Presente. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (VIII SIMPASE), 8., 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** [s. l.: s. n.], 2009.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FANGER, P. O. **Thermal Confort: analysis and applications in environmental engineering.** New York: McGraw – Hill Book Company, 1972.

FLAX, B. M. Intelligent Buildings. **IEEE Communications Magazine**, New York, v. 29, n. 4, p. 24-27, Apr. 1991.

FONSECA, M. L. **Framework para Construção e Análise de Sistemas de Gestão de Energia elétrica para Consumidores de Baixa Tensão em Redes Elétricas Inteligentes.** 2011. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** São Paulo: Studio Nobel, 1988.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável.** Rio de Janeiro: Relume Dumara, 2003.

HAN, D. -M.; LIM J.-H. Design and Implementation of Smart Home Energy Management Systems based on ZigBee. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, New York, v. 56, n. 3, p. 1417-1425. Aug. 2010.

HENKE, A. **Multisensoriamento de Fachadas para Controle Inteligente de Proteção Solar**. 2014. 68f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HOMESYSTEMS. **Homesystems Ambientes Inteligentes**.

Disponível em: <<http://www.Homesystems.com.br/>>. Acesso em: 05 de fev. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Topics: Energy Efficiency**. Disponível em: <<http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>>. Acesso em: 20 de jul. 2015.

IPPOLITO, M. G.; SANSEVERINO, E. R.; ZIZZO, G. Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 69, [s. n.], p. 33-40. Oct. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: thermal environments – instruments and methods for measuring physical quantities**. Switzerland, 1998.

KLINGENSMITH, N.; WILLIS, D.; BANERJEE, S. A Distributed Energy Monitoring and Analytics Platform and its Use Cases. In: ACM WORKSHOP ON EMBEDDED SENSING SYSTEMS FOR ENERGY-EFFICIENCY IN BUILDING (BUILDSYS'13), 5., 2013, Rome. **Proceedings...** New York: ACM, 2013. p. 1-8.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivo climático da Cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-svera-csv-bin>>. Acesso em: 14 de jun. 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

LAZZARI, A. **Desenvolvimento de um Protótipo de Sistema Ciberfísico para Acionamento de Condicionador de Ar em Ambiente Residencial**. 2014. 61f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEITTE, J. P. et al. Automadroid – Automação Residencial com Dispositivos Móveis. **Controle e Automação**, Belém, v. 5, [s. n.], p 1-7, jan. 2012.

LU, J. et al. The Smart Thermostat: Using Occupancy Sensors to Save Energy in Home. In: ACM CONFERENCE ON EMBEDDED NETWORKED SENSOR SYSTEMS (SENSYS'10), 8., 2010, Zurich, Switzerland. **Proceeding...** New York: ACM, 2010. P. 211-224.

- MARINAKIS, V. et al. A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption. **Sustainable Cities and Society**. Oxford, v. 6, [s. n.], p. 11-15. Feb. 2013.
- MARTIRANO, L. et al. Simulation and sensitivity analysis of a fuzzy-based building automation control system. In: IEEE INDUSTRY APPLICATIONS ANNUAL MEETING, 49., 2014, Vancouver. **Proceeding...** Vancouver: IEEE-PSEC, 2014. P. 1-7.
- MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 47-68, out. 2005.
- MLE+*. **Caixa de ferramentas MLE+ ToolboxMatlab**. Disponível em: <<http://mlab.seas.upenn.edu/mlep/>>. Acesso em: 14 de jun. 2014.
- MOGHADDAM, A. A.; MONSEF, H.; KIAN, A. R. Optimal Smart Home Energy Management Considering Energy Saving and a Comfortable Lifestyle. **IEEE - Transaction on Smart Grid**, Piscataway, v. 6, n. 1, p 324-332. Jan. 2015.
- NELSON, T. M. et al. Thermal Comfort: Advantages and Deviations. **ASHRAE Transactions**, New York, v. 93, n. 1, p. 1039-1054, 1987.
- PALENSKY, P. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. Piscataway, v. 7, n. 3, p 381-388, Aug. 2011.
- PEFFER, T. et al. How people use thermostats in homes: A review. **Building and Environment**, Oxford, v. 46, n. 12, p. 2529-2541. June 2011.
- PEREIRA, I. M. et al. Retrofit de Edifício de Serviços para Eficiência Energética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 4., 2011, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: CBEE/ABEE, 2011. p. 1-7.
- PEROZZO, R. F.; PEREIRA, C. E. Ambientes Inteligentes: Uma Arquitetura para Cenários de Automação Predial/Residencial baseada em Experiências. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 1-7.
- PINA, A.; SILVA, C.; FERRÃO, P. The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity. **Energy**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 128-137. May 2012.
- PRUDENTE, F. **Automação Predial e Residencial: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 212 p.
- REINISH, C. et al. ThinkHome Energy Efficiency in Future Smart Homes. **EURASIP Journal on Embedded Systems**, New York, v 2011, [s. n.], p. 1-18. Jan. 2011.
- RIBEIRO, Z. B. **Parâmetros para Análise de Projetos de Eficiência Energética em Eletricidade**. 2005. 123 p. (Mestrado em Engenharia) – Programa Internúcleos de Pós-Graduação em Energia (EP,FEA,IEE,IF) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SABIÁ, R. J. Estudo da Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005, p 1-5.

SILVA, H. C. **Window Design For Thermal Comfort in Domestic Building in Southern Brazil**. 1994. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Architectural Association School of Architecture, Environment and Energy Studies Programme, Londres, 1994.

SILVA, R.M. **Modelagem de sistemas de controle de edifícios inteligentes considerando a ocorrência de falhas**. 2008. 183f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SKETCHUP. **Software de Desenho Gráfico em 3D SketchUpMake para Windows**. Versão 8.0. 2015. Disponível em: <<http://www.SketchUp.com/pt-BR/download>>. Acesso em: 14 de jun. 2014.

SO, A.T.P.; WONG A.C.W.; WONG K.C. A new definition of intelligent buildings for Asia. **The Intelligent Building Index Manual**, Hong Kong, v. 17, n. 12/13, p. 485-491. Oct. 2001.

SOUZA, F. **Simulação visando eficiência energética de um novo prédio da UFRGS utilizando o EnergyPlus**. 2010. 27f. Monografia (Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

STAZI, F. et al. Retrofitting using a dynamic envelope to ensure thermal comfort, energy savings and low environmental impact in Mediterranean climates. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 54, [s. n.], p. 350-362, Nov. 2012.

TORRI, L. B. **Uma Proposta de Plataforma Extensível para Micro Medição em SmartAppliances**. Dissertação (Mestrado em Computação). Programa de Pós-Graduação em Computação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Portal do U.S. Department of Energy**. 2010. Disponível em: <<http://www.oe.energy.gov/Smart Grid.htm>>. Acesso em: 31 de maio 2015.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Software de Simulação EnergyPlus para Windows**. versão 8.1, 2014a. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/EnergyPlus/>>. Acesso em: 18 de jun. 2014.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Legacy OpenStudioSketchUp Plug-in**. versão 1.0.11, 2014b. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/EnergyPlus/openstudio.cfm>>. Acesso em: 20 de jun. 2014.

WONG, J. K. W.; LI, H.; WANG, S. W. Intelligent building research: a review. **Automation in Construction**. Amsterdam, v. 14, n. 1, p. 143-159, Jan. 2005.

APÊNDICE A – SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DO AMBIENTE ANALISADO

O sistema de automação instalado no ambiente analisado é composto por módulos com funções de automação específicas no processo de automação, este sistema foi adquirido da empresa *Homesystems* parceira da universidade. Entre os módulos do sistema, está o *Systembox* que é módulo controlador do sistema de automação, além deste, o sistema possui o *Smarthub* que é o módulo responsável pela conexão dos diversos módulos do sistema com o controlador *Systembox*. Este sistema de automação possui um protocolo de comunicação proprietário chamado *Homesystems-NET (HS-NET)* (*HOMESYSTEMS*, 2014).

O Módulo *Systembox* é o controlador responsável pelo armazenamento, gerenciamento e controle das operações executadas pelo sistema de automação (*HOMESYSTEMS*, 2014). Ele possui uma interface para a rede Internet, para comunicação com o protocolo *Ethernet*, sendo assim, é possível a comunicação com outros módulos remotos (*HOMESYSTEMS*, 2014). O *Systembox*, como mostra a figura 43, funciona com o sistema operacional Linux, incluindo todas as funções de um servidor *Web*, permitindo o acesso remoto de forma simples utilizando-se apenas um navegador de Internet (*HOMESYSTEMS*, 2014).



Figura 43 – Controlador *Systembox*.

Fonte: *Homesystems* (2014).

O módulo *Smarthub* é utilizado no sistema para conectar segmentos de rede, estender sua capacidade e facilitar as instalações prediais através da arquitetura em distribuição estrela como mostra a Figura 44. O módulo tem a função de converter o protocolo *Ethernet* no protocolo *HS-NET*. Pode-se observar que comunicação entre o módulo *Smarthub* e o módulo

Systembox é por meio de Protocolo *Ethernet*, e a comunicação entre o módulo *Smarthub* e os demais módulos periféricos do sistema utiliza o protocolo *HS-NET* (*HOMESYSTEMS*, 2014).

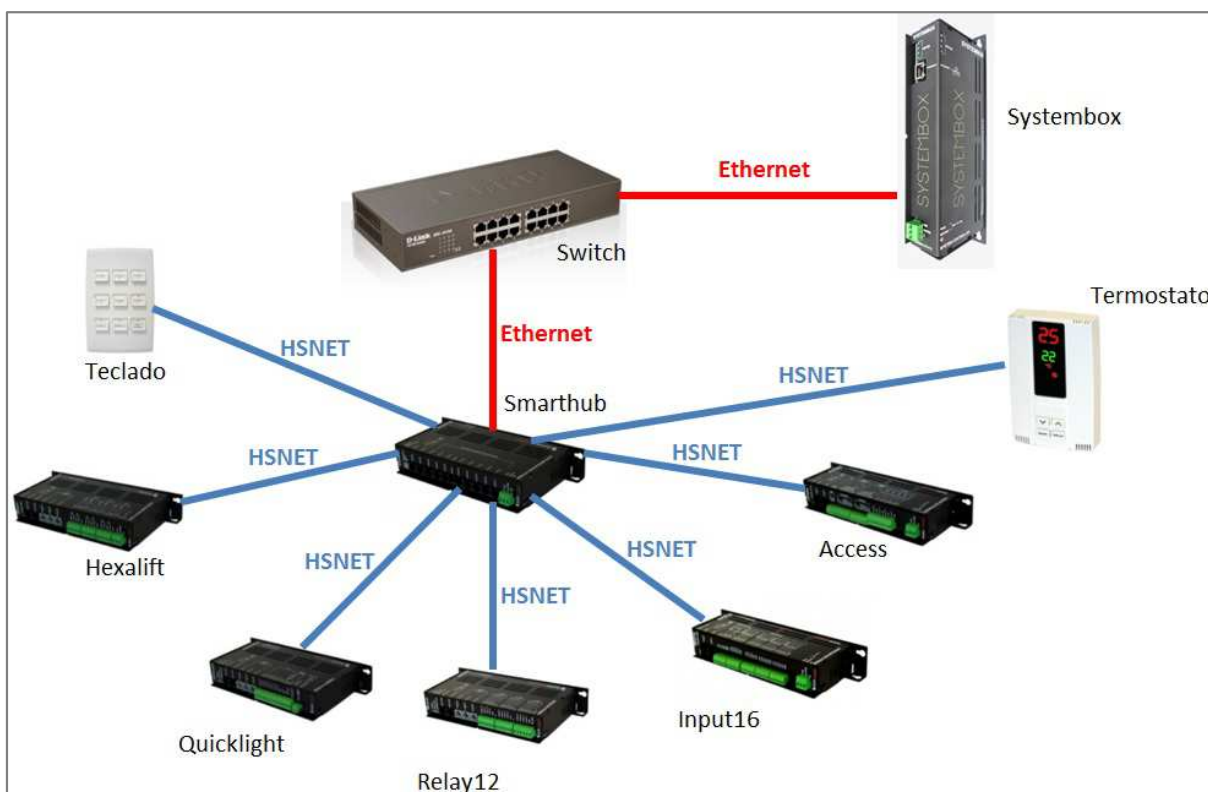


Figura 44 – Arquitetura do sistema *Homesystems*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema possui outros módulos que possuem funções específicas no sistema que estão descritas como segue (*HOMESYSTEMS*, 2014):

- *Relay12* ou 16 – módulo com conjunto de relés que acionam os elementos atuadores;
- *Input16* – módulo possui 16 canais de entrada digital e 2 canais de entrada analógica que conecta os sensores de temperatura, movimento, entre outros;
- *Quicklight* – módulo utilizado para o chaveamento de cargas resistivas e indutivas monofásicas onde existe a necessidade de dimerização;
- *IRzapper* – módulo responsável pelo gerenciamento da transmissão de sinais infravermelhos para equipamentos que possuem esta tecnologia;
- *Hexalift* – módulo que permite o controle de cortinas motorizadas, acionando motores do tipo monofásico com dois sentidos abre/fecha;

- *Access* – módulo para controle de acesso de portas, portões e catracas;
- *Keypad* – módulo que possibilita o controle dos diversos itens da rede *HS-NET* através das suas teclas programáveis; e
- *HVAC-Keypad* – módulo com operação de ajuste do sistema de climatização.

O protocolo de comunicação *HS-NET* proprietário da empresa *Homesystems* é utilizado para a comunicação entre o módulo *Smarthub* e os demais módulos que compõe o sistema de automação, como mostra a Figura 44.

Principais características do protocolo *HS-NET* (*HOMESYSTEMS*, 2014):

- utiliza o padrão RS-485 como meio físico para comunicação;
- velocidade de 19200 bps;
- comunicação é do tipo mestre – escravo, onde todas as transmissões são entre o controlador *Systembox* e um dos dispositivos escravos;
- nenhum dispositivo pode iniciar uma transmissão até ser perguntado pelo mestre;
- os dispositivos escravos possuem um endereço único na rede entre 1 e 380; e
- o dispositivo mestre possui sempre o endereço 0.

O sistema de automação da *Homesystems* possui softwares para programação, criação de interfaces para interação do usuário com o sistema, assim como outros. No subitem a seguir será apresentado o *ScapeWorks*.

O empresa *Homesystems* possui o *ScapeWorks*, que é um software para programação sistema de automação. A Figura 45 mostra uma das telas deste software.

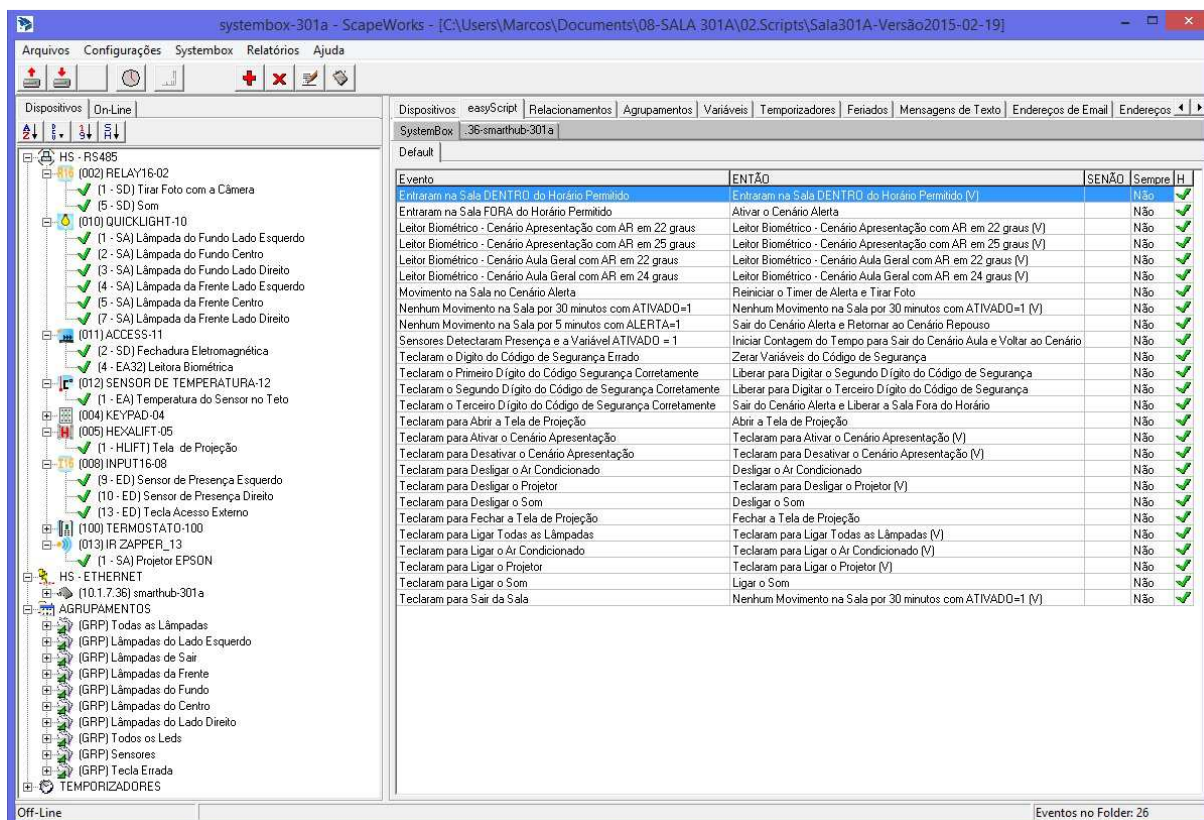


Figura 45 – Tela de configuração dos cenários do *ScapeWorks*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entre os vários recursos deste software, está à possibilidade de criação de eventos que podem executar procedimentos pré-definidas pelo programador do sistema, estes procedimentos ao serem executados podem ativar/desativar equipamentos, ajustar parâmetros conforme programação, assim como, monitorar sensores de temperatura, entre outros, que auxiliam na melhoria do conforto dos usuários. Além disso, com estes procedimentos o programador do sistema pode criar cenários com configurações do sistema de acordo com as necessidades dos usuários destes ambientes automatizados. Segue abaixo uma breve descrição destes cenários.

Cenários:

O recurso de criação de cenários permite a configuração do sistema a partir de eventos criados e pré-definidos pelo programador. Por exemplo, um cenário configurado que funciona atualmente no ambiente analisado é chamado de “Apresentação” e possui a seguinte configuração: o sistema de automação executa ações no ambiente preparando este para uma

aula com uso de projetor de multimídia com projeção em tela. O acionamento deste cenário “Apresentação” se dá pela seguinte forma: quando o ambiente é acessado pelo usuário por meio de identificação biométrica (se estiver programado para esse cenário) ou após acessar o ambiente for pressionada a tecla do *Keypad* que está pré-definido com este cenário. Assim que for acionado este cenário pode-se verificar a seguinte sequência de ações:

- as luminárias próximas a tela de projeção são desligadas;
- a tela de projeção que é automatizada baixa;
- o ar condicionado é acionado e ajustado o *setpoint* pré-definido (quando for acesso); e
- o projetor de multimídia é acionado por meio de infravermelho.

Assim como no cenário descrito acima, outros cenários ou equipamentos podem ser ativados ou desativados no ambiente automatizado.

Comunicação do controlador *Systembox*:

O controlador *Systembox* aceita alguns tipos de comunicações, entre elas, *requests* em HTTP. Esta comunicação é utilizada entre o *Systembox* e o controle de *setpoint* proposto neste trabalho. Antes de citar tipos de comandos utilizados, será definido o termo *unit*, que é a identificação atribuída internamente pelo sistema a cada dispositivo e porta de entrada e saída conectadas ao sistema de automação, ou ainda, qualquer variável, agrupamento, ou temporizador programado no sistema de automação; Por exemplo, o módulo *Relay 12* possui uma *unit* atribuída a ele, assim como, cada uma das suas 12 portas digitais de saídas (relês) também possuem uma *unit* atribuída a elas.

Podem-se citar alguns comandos pré-estabelecidos utilizados para enviar e receber dados, os quais são descritos a seguir:

- a) Solicitar o valor de uma *unit*:

<http://IP_SYSTEMBOX/monitor/monitor.cgi?ref_page=get&unit=UNIT>,

onde, *IP_SYSTEMBOX* é o endereço de IP atribuído ao controlador *Systembox*, *get* significa que está sendo solicitado ao *Systembox* o valor da *unit* e *UNIT* é a identificação da *unit* que se quer saber o valor.

- b) Alterar o valor de uma *unit* (este comando não altera a identificação da *unit*):

`<http://IPSYSTEMBOX/monitor/monitor.cgi?ref_page=set&unit=UNIT&newvalue=VALOR>`,

onde, *set* significa que está sendo solicitado ao *Systembox* a alteração do valor de uma *unit* e *VALOR* é o novo valor que se quer atribuir a *unit*.

- c) Solicitar o valor de uma variável:

`<http://IP_SYSTEMBOX/monitor/monitor.cgi?ref_page=getvar&unit=ID_VARIAVEL>`,

onde, *getvar* significa que está sendo solicitado ao *Systembox* o valor de uma *unit* e *ID_VARIAVEL* é a identificação da variável.

- d) Para alterar o valor de uma variável, utilizar *ref_page=setvar*:

`<http://IP_SYSTEMBOX/monitor/monitor.cgi?ref_page=setvar&unit=ID_VARIAVEL&newvalue=VALOR&newflags=VALOR_FLAG>`,

onde, *setvar* significa que está sendo solicitado ao *Systembox* a alteração do valor de uma variável, *VALOR* é novo valor que se quer atribuir a um variável numérica e *VALOR_FLAG* é o novo valor que se quer atribuir a variável de hora.

APÊNDICE B – SCRIPT DA ESTRATÉGIA PROPOSTA

```

% Este script simula uma estratégia de supervisão para um sistema de
% climatização. A estratégia calcula o set-point de temperatura da zona
% com base no tempo atual e a temperatura externa. A edificação é simulada
% pelo EnergyPlus.
%
% Ele foi testado com o Matlab R2012b e EnergyPlus 8.1.0.
%
% Exte exemplo é tirado de um exemplo distribuido junto ao pacote do MLE+.

%% Create an mlepProcess instance and configure it
ep = mlepProcess;
ep.arguments = {'Sala301A-(10)', 'RS_Porto_Alegre'};
ep.acceptTimeout = 300000;
VERNUMBER = 2; % version number of communication protocol

%% Iniciar a co-simulação com o EnergyPlus
[status, msg] = ep.start;
if status ~= 0
    error('Não foi possível iniciar EnergyPlus: %s.', msg);
end

%% O loop de simulação principal
deltaT = 15*60; % timestep = 15 minutos
kStep = 1; % passo da simulação atual.
MAXSTEPS = 4*24*365+1; % tempo máximo de simulação = 4 days
TCRooLow = 22; % A temperatura da zona é mantida entre TCRooLow & TCRooHi
TCRooHi = 22;
TOutLow = 22; % Nível baixo da temperatura externa
TOutHi = 22; % Nível alto da temperatura externa
ratio = (TCRooHi - TCRooLow)/(TOutHi - TOutLow);

% Registros armazenados de Setpoints, Temperatura externa e Temperatura de
% zona a cada timestep.
logdata = zeros(MAXSTEPS, 4);
while kStep <= MAXSTEPS
    % Ler um pacote de dados a partir de E+
    packet = ep.read;
    if isempty(packet)
        error('Não foi possível ler as saídas de E+.');
    end

    % Analisar o pacote para obter as saídas da edificação
    [flag, eptime, outputs] = mlepDecodePacket(packet);
    if flag ~= 0, break; end

    % INICIAR o cálculo do próximo set-point
    dayTime = mod(eptime, 86400); % hora do dia atual
    if (dayTime >= 8.5*3600) && (dayTime <= 12.17*3600)

```



```

% Período de aula da manhã (das 8:30 as 12:10)
% Set-point de aquecimento: de dia -> 20,
%                               de noite -> 16
% Set-point de resfriamento é delimitado por TCRooLow e TCRooHi
SP = [18, max(TCRooLow, ...
             min(TCRooHi, TCRooLow + (outputs(1) - TOutLow)*ratio))];

elseif (dayTime >= 13.5*3600) && (dayTime <= 17.17*3600)
    % Período de aula da tarde (das 13:30 as 17:10)
    % Set-point de aquecimento: de dia -> 20,
    %                               de noite -> 16
    % Set-point de resfriamento é delimitado por TCRooLow e TCRooHi
    SP = [18, max(TCRooLow, ...
                 min(TCRooHi, TCRooLow + (outputs(1) - TOutLow)*ratio))];

else
    % Set-point de aquecimento: dia -> 20, noite -> 16
    % Set-point de resfriamento: noite -> 30
    SP = [18 22];

end

% FIM do cálculo do próximo set-point

% Escrever na entrada do E+
ep.write(mlepEncodeRealData(VERNUMBER, 0, (kStep-1)*deltaT, SP));

% Salvar no registro de dados
logdata(kStep, :) = [SP outputs];

kStep = kStep + 1;
end

% Parar EnergyPlus
ep.stop;

disp(['Parou com o flag ' num2str(flag)]);

% Remover as entradas não utilizadas no registro de dados
kStep = kStep - 1;
if kStep < MAXSTEPS
    logdata((kStep+1):end,:) = [];
end

% Resultado de plotagem
plot([0:(kStep-1)]*deltaT/3600, logdata);
legend('SetPoint Aquec', 'Setpoint Resfr', 'Temp Externa', 'Temp da Zona');
title('Temperaturas');
xlabel('Tempo (horas)');
ylabel('Temperatura (°C)');

```

```
% =====FLAGS=====
% Descrição de Flag
% +1 A simulação passou do tempo final.
% 0 Funcionamento normal.
% -1 Simulação encerrada devido a um erro não especificado.
% -10 Simulação encerrada devido a um erro durante a inicialização.
% -20 Simulação encerrada devido a um erro durante o tempo de integração.
```

APÊNDICE C – SOFTWARE *DE SIMULAÇÃO ENERGYPLUS*

EnergyPlus é um software de simulação de carga térmica e de análise de consumo de energia com base na descrição do usuário de uma edificação, a partir da perspectiva física da edificação com a associação de sistemas mecânicos entre outros, o *EnergyPlus* calcula as cargas necessárias para manter *setpoints* de controle térmico de aquecimento e resfriamento, as condições de todo o sistema de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (HVAC do inglês heating, ventilating, and air conditioning; also *heating, ventilation, and air conditioning*), bobina secundária de cargas, e o consumo de energia dos equipamentos do sistema principal. Integração simultânea destes e muitos outros detalhes para verificar se a simulação no *EnergyPlus* executa como se fosse a edificação real (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a).

O *EnergyPlus* fornece o *EP-Launch* que é uma alternativa mais simples para a execução de *EnergyPlus* do que edição de texto do arquivos, este *EP-Launch* permite que o usuário selecione o arquivo de entrada diretamente ou de uma lista de arquivos recentes ou amostra, além de permitir a seleção de arquivos de dados meteorológicos, conforme mostra a Figura 46 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a).

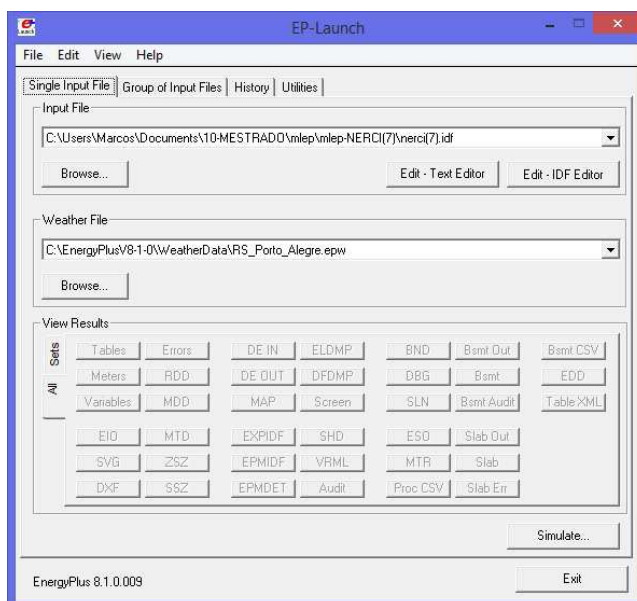


Figura 46 – Interface do *EP-Launch*.

Após a simulação concluir, o *EP_Launch* possui interface de fácil acesso para visualizar relatórios da simulação, como por exemplo, o arquivo de erro caso tenha ocorrido, além disso, o *EnergyPlus* possui *IDF Editor* que auxilia a visualizar e editar qualquer objeto *EnergyPlus* por meio de uma planilha, conforme mostra a Figura 47, o editor fornece automaticamente uma lista de nomes de objetos quando um objeto precisa ser vinculado a outro (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a).

O editor exibe todos os objetos da mesma classe lado a lado em um tabela, é fácil de ver as diferentes entradas em toda a edificação. Além disso, o editor IDF converte unidades polegada-libra padrão em unidades SI compatíveis com *EnergyPlus* (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a).

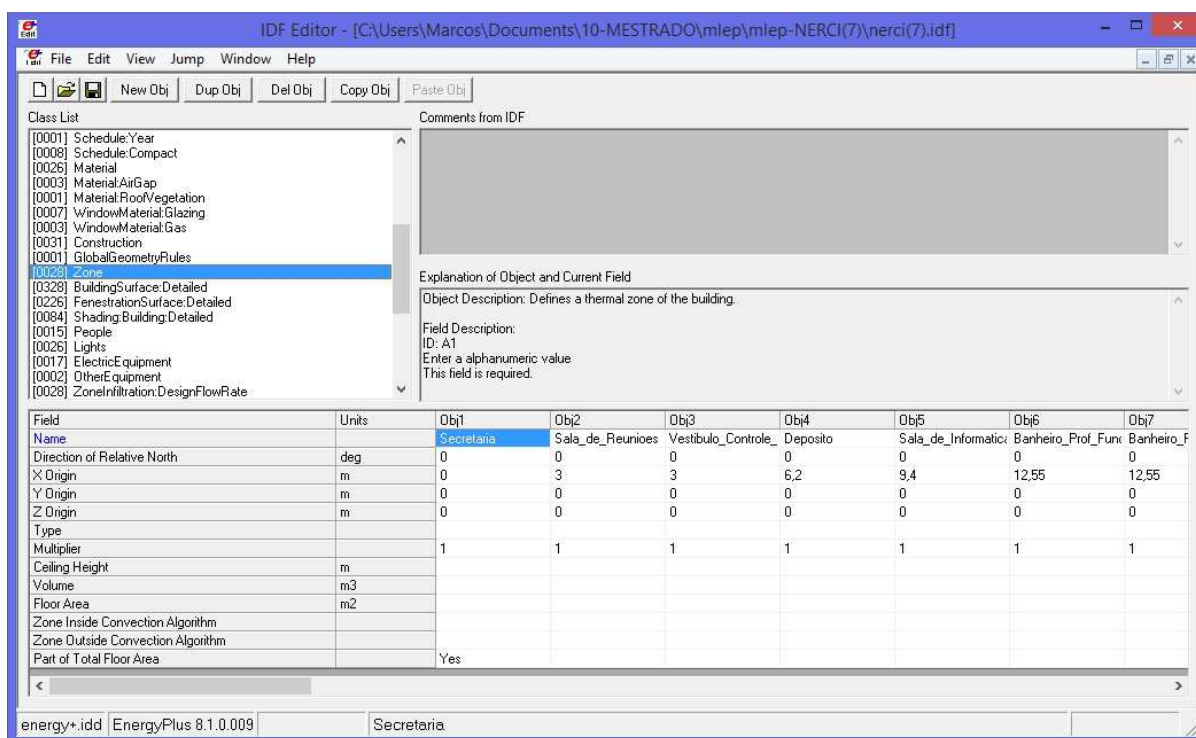


Figura 47 – Interface do Editor de arquivo IDF.

APÊNDICE D – Ferramenta *MLE+* do Software *Matlab*

O *MLE+* é uma caixa de ferramenta *open-source* do software *Matlab* utilizada para a co-simulação com o software *EnergyPlus* (MLE+, 2015). É projetado para engenheiros e pesquisadores que estão familiarizados com o *Matlab* e *Simulink* e querem usar esta ferramenta com softwares de simulação energética de edificações. A seguir estão as principais características do *MLE+* (MLE+, 2015):

- possui um front-end que simplifica o processo de configuração para vincular o modelo da edificação, as estratégias ou controles e os parâmetros necessários para a co-simulação, reduzindo o tempo de configuração e problemas de configuração;
- proporciona um fluxo de trabalho de desenvolvimento de controle, bem como gráficos *front-ends* para a concepção de estratégias de controle avançado, no qual a simulação de construção é realizado pelo *EnergyPlus* enquanto os controladores são implementados em *Matlab* ou *Simulink*, a Figura 48 mostra o *front-end* com o fluxo de trabalho.

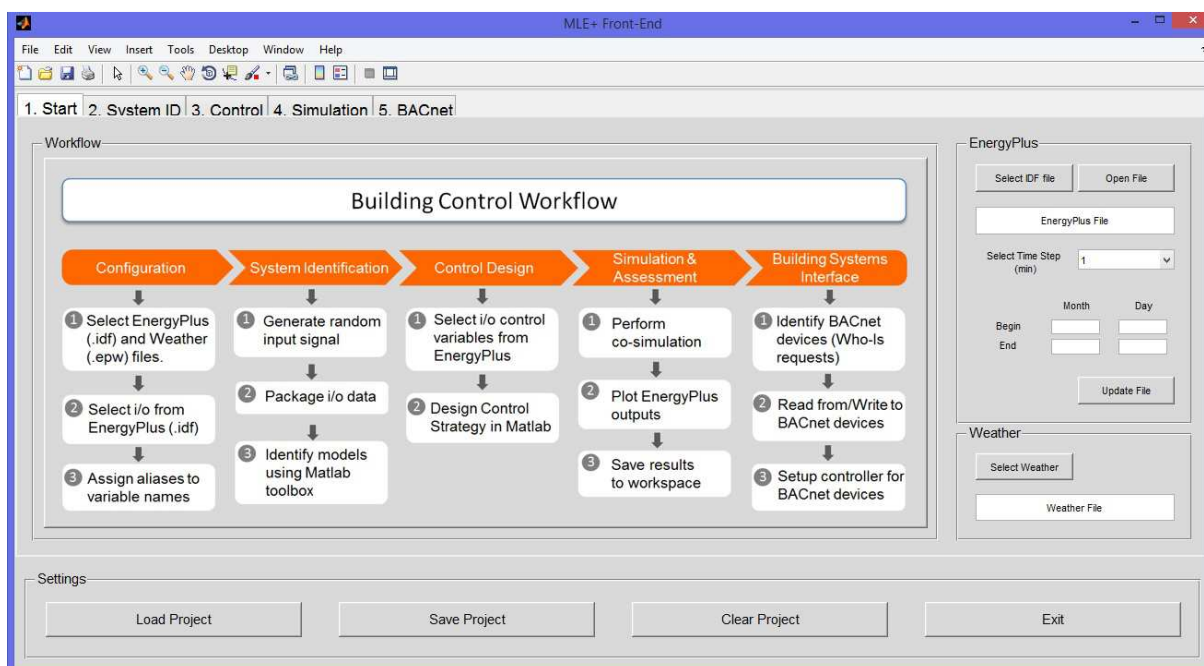


Figura 48 – *Front-end* com Fluxo de Trabalho do *MLE+*.

- pode ser usado para encontrar parâmetros ótimos ou sequências de controle para a construção de simulações de sistema no *EnergyPlus*;
- depois da conclusão da co-simulação, usando *MLE+*, os dados do *EnergyPlus* de saída podem ser agregados, analisados e visualizados em *Matlab*;
- fornece uma interface de rede Building Automation and Control Network (BACnet) para desenvolver e implementar métodos de controle para equipamentos de construção real; e
- permite acesso completo ao ambiente *Matlab* e caixas de ferramentas, tais como *Optimization Toolbox Global*, Sistema de Identificação *Toolbox* e *Modelo Predictive Control Toolbox*. O usuário pode percorrer o código para depuração e pausar a co-simulação a qualquer momento.

A estrutura do *MLE+*, mostrado na Figura 49, é constituída por componentes do núcleo e do fluxo de trabalho, os componentes do núcleo fornecem interfaces para a construção de ferramentas de simulação e dispositivos de construção e o fluxo de trabalho *MLE+* é uma seqüência de operações que utilizam os componentes principais para projetar de forma eficiente, simular e avaliar um controlador para um determinado modelo ou construção de instalações de uma plataforma de automação (*MLE+*, 2015).

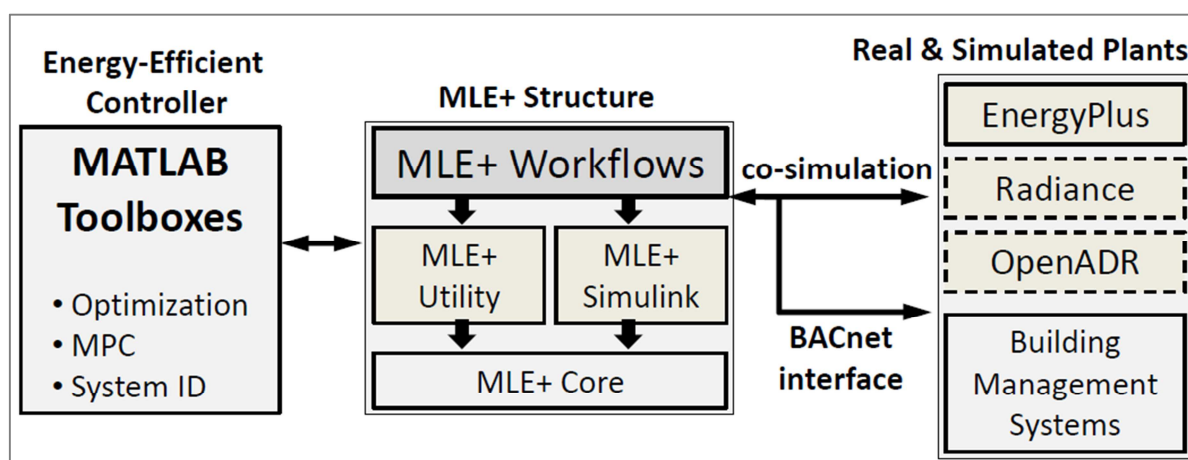


Figura 49 – Estrutura do *MLE+*.

APÊNDICE E – Sistemas Embarcados Utilizados

A placa *Arduino mega 2560* é uma placa com microcontrolador baseado no *ATmega2560* (ARDUINO, 2015). Esta placa possui 54 pinos digitais de entrada/saída, dos quais 15 podem ser usados como saídas *Pulse-Width Modulation* (PWM), 16 entradas analógicas, 4 *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART), um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão *Universal Serial Bus* (USB), uma conexão de alimentação e uma conexão para *In Circuit Serial Programming* (ICSP), como mostra a Figura 50. Esta placa contém todos os itens necessários para dar suporte ao microcontrolador (ARDUINO, 2015).

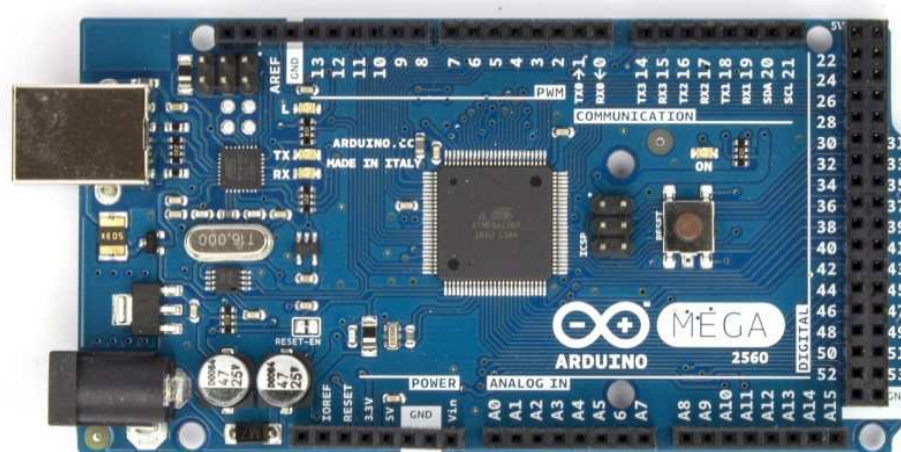


Figura 50 – Placa *Arduino Mega 2560*.

Fonte: *Arduino* (2015).

O *Arduino Ethernet Shield* permite que uma placa *Arduino Mega 2560* possa se conectar à internet. Ele baseia-se em um chip de *Ethernet Wiznet W5100*. O *Wiznet W5100* fornece uma rede IP para *Transmission Control Protocol* (TCP) e *User Datagram Protocol* (UDP), ele suporta até quatro conexões de soquete simultâneas (ARDUINO, 2015). O *Ethernet Shield* se conecta a placa *Arduino Mega 2560* usando barra de de pino longos que se estendem através do *shield* na forma de empilhamento, a Figura 51 mostra o *Arduino Ethernet Shield* (ARDUINO, 2015).

O *Shield* possui um *slot* para cartão *micro-SD* integrado, que é utilizado para o armazenamento do arquivo com os dados das aquisições. Este *slot* é compatível com a placa

Arduino Mega 2560 quando se utiliza a biblioteca de *Ethernet*. O leitor de cartão *micro-SD* integrado é acessível através da Biblioteca *SD* (ARDUINO, 2015).

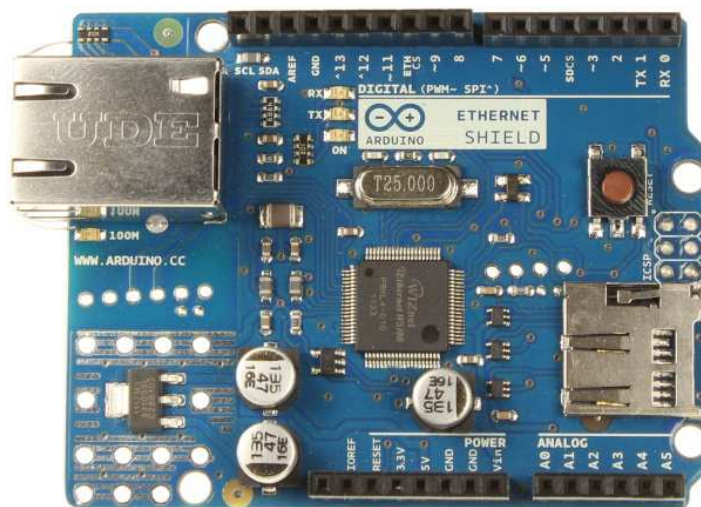


Figura 51 – *Arduino Ethernet Shield*.
Fonte: *Arduino* (2015).

O módulo RTC, conforme mostra a Figura 52, tem 56 bytes de memória não-volátil disponível para uso capaz de armazenar e fornecer informações completas de data como dia da semana, dia do mês, mês, ano e além disso, das funções de horas, minutos e segundos, nos formatos de 12 ou 24 horas. Este módulo possui uma bateria de lítio que garante que os dados sejam preservados mesmo sem alimentação externa, e é acionada automaticamente em caso de falta de energia no módulo. A comunicação com a placa *Arduino Mega 2560* é através da *interface Inter-Integrated Circuit (I2C)*, usando dois 2 pinos para se comunicar (ARDUINO, 2015).

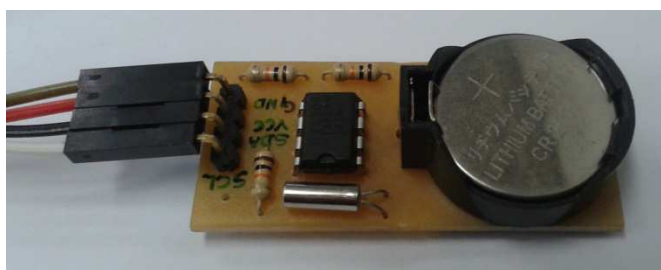


Figura 52 – Módulo RTC.
Fonte: Fotografado pelo autor.

A placa *Shield TFT Screen* é uma tela de LCD retro iluminada com pinos para o empilhamento, conforme mostra a Figura 53, este shield é compatível com o *Shield Ethernet* e

a placa *Arduino Mega 2560*. A tela é de 2,8", medida na sua diagonal, com resolução de 320 x 240 pixel. Este *shield* permite ao usuário desenhar formas de texto e imagens na tela utilizando a biblioteca *TFT*, além disso, permite mostrar na forma de um monitor as informação registrada através de aquisição e que são armazenados no cartão micro-SD (ARDUINO, 2015).



Figura 53 – *Shield TFT Screen*.
Fonte: Fotografado pelo autor.

APÊNDICE F – Código de Solicitações ao Sistema de Automação

/*

Solicitação de Temperatura para o Sistema de Automação da *Homesystems*

Este programa conecta ao servidor *Systembox-301a.ece* e faz a solicitação:

- * valor da unidade 465 (sensor de temperatura interna da sala);
- * valor da unidade 322 (sensor de temperatura externa da sala); e
- * armazena no cartão SD estas informações.

Este programa atribui o cliente com um endereço MAC e endereço IP.

Circuito:

- * *Arduino* MEGA 2560;
- * *Ethernet* shield W5100;
- * RTC1307

Adaptado em 13/04/2015
por Marcos Vizzotto

Este programa é uma adaptação de:

<http://Arduino.cc/en/Tutorial/WebClientRepeating>

<http://Arduino.cc/en/Tutorial/ReadWrite>
TCC-UFRGS-Douglas Dal'Bello

*/

//Bibliotecas:

```
#include <String.h>
#include <stdlib.h>
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <SD.h>
#include <Time.h>
#include <Wire.h>
#include <DS1307RTC.h>
```

//Declaração de variáveis importantes do sistema:

// Endereço MAC do Shield *Ethernet*.

```
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
```

// Definição do ip do servidor do sistema de automação (*Systembox* da Sala 301A).

```
char server[] = "Systembox-301a.ece";
```

// Endereço de IP para o Shield *Ethernet* a ser definido se o DHCP falhar.

```
IPAddress ip(10,1,241,180);
```

// Cria uma instância da Classe *EthernetClient*.

```
EthernetClient client;
```

//3 strings que serão utilizadas para enviar a mensagem ao *Systembox*.

```
String stringOne, stringTwo, stringThree;
```

// last time you connected to the server, in milliseconds

```
unsigned long lastConnectionTime = 0;
```

```

// state of the connection last time through the main loop
boolean lastConnected = false;
// delay between updates, in milliseconds
const unsigned long postingInterval = 30*1000;
// Arquivo para gravação da temperatura.
File myFile;
// Outra variáveis:
char var14;
char var15;
char var16;
char var17;
int i = 0;
int j = 0;
int k = 0;
int TempInterna = 0;
int TempExterna = 0;

void setup() {
  // Inicia a porta serial com BaudRate de 9600
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Configurando a Ethernet com DHCP... ");
  // Caso a rede não conseguiu configurar automaticamente o ip do shield Ethernet
  if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
    Serial.println("Falhou a configuração Ethernet utilizando DHCP");
    Serial.print("Configurando a Ethernet com IP 10.1.241.180... ");
    // Configura com endereço MAC e IP pré definido (10.1.241.180)
    Ethernet.begin(mac, ip);
  }
  delay(3000);
  // Disponibiliza na porta serial o ip adquirido pelo shield Ethernet
  Serial.print("My IP address: ");
  // imprime o valor de cada tipo de IP:
  for (byte thisByte = 0; thisByte < 4; thisByte++) {
    Serial.print(Ethernet.localIP()[thisByte], DEC);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println();
  Serial.println("connecting...");
  delay(1000);
  // Inicializar o cartão SD:
  Serial.print("Inicializando o cartao SD... ");
  pinMode(53, OUTPUT);
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("A inicializacao falhou!");
    return;
  }
  Serial.println("Inicializacao com sucesso.");
  Serial.print("Verificando RTCClock... ");
  //Função que set a data e hora com dados do RTC
  setSyncProvider(RTC.get);
}

```

```

if(timeStatus()!= timeSet)
  Serial.println("Unable to sync with the RTC");
else
  Serial.println("RTC has set the system time");
  for (i=0 ; i<4 ; i+=1) {
    digitalWrite(13, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(13, LOW);
    delay(300);
  }
  i = 0;
  Serial.println();
}

void loop() {
  if (client.available()) {
    // Se existem dados de entrada da conexão de rede, enviar para a porta serial,
    // somente para fins de depuração.
    char c = client.read();
    Serial.print(c);
    //Grava o valor da dezena da temperatura INTERNA na variável var14.
    if (i == 4) var14 = c;
    //Grava o valor da unidade da temperatura INTERNA na variável var15.
    if (i == 5) var15 = c;
    //Grava o valor da dezena da temperatura EXTERNA na variável var16.
    if (i == 16) var16 = c;
    //Grava o valor da unidade da temperatura EXTERNA na variável var17.
    if (i == 17) var17 = c;
    i++;
  }
  // Se não houver conexão de rede, mas havia no último loop, fechar o cliente:
  if (!client.connected() && lastConnected ) {
    client.stop();
    Serial.print(hour());
    Serial.print(":");
    if(minute() < 10) Serial.print('0');
    Serial.print(minute());
    Serial.print(":");
    if(second() < 10) Serial.print('0');
    Serial.print(second());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(day());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(month());
    Serial.print(" ");
    Serial.print(year());
    Serial.println();
    int varDezena1 = var14 - '0';
    int varUnidade1 = var15 - '0';
    int varDezena2 = var16 - '0';
  }
}

```

```

int varUnidade2 = var17 - '0';
TempInterna = varDezena1*10+varUnidade1;
TempExterna = varDezena2*10+varUnidade2;
Serial.print("TempInterna: ");
Serial.println(TempInterna);
Serial.print("TempExterna: ");
Serial.println(TempExterna);
Serial.println();
GravarSDCard();
i = 0;
}
if(!client.connected() && (millis() - lastConnectionTime > postingInterval)) {
    SolicitaDados();
}
// Armazenar o estatus da conexão para o próximo loop:
lastConnected = client.connected();
}

// Função que faz a solicitação das temperaturas Interna e Externa por meio de
// conexão HTTP para o servidor:
void SolicitaDados() {
    if (client.connect(server, 80)) {
        stringOne = "GET /monitor/monitor.cgi?ref_page=mget&unit=465,322";
        client.println(stringOne);
        // Gravar o tempo de conexão bem sucedida:
        lastConnectionTime = millis();
    }
    else {
        //caso não tenha conseguido se conectar com o Systembox envia mensagem de erro.
        Serial.println("Não conseguiu solicitar temperatura");
        //quando termina o envio da mensagem encerra o client.
        client.stop();
    }
}

// Função que armazena os dados no cartão microSD.
void GravarSDCard () {
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        myFile.print(hour());
        myFile.print(":");
        if(minute() < 10) myFile.print('0');
        myFile.print(minute());
        myFile.print(":");
        if(second() < 10) myFile.print('0');
        myFile.print(second());
        myFile.print(";");
        myFile.print(day());
        myFile.print(";");
        myFile.print(month());
    }
}

```

```
myFile.print(";");
myFile.print(year());
myFile.print(";");
myFile.print(TempInterna);
myFile.print(";");
myFile.println(TempExterna);
digitalWrite(13, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(13, LOW);
}
myFile.close();
}
```

APÊNDICE G – Software *SketchUp*

O Google *SketchUp* é um software de desenho auxiliado por computador (CAD) que trabalha com ambiente em 3 dimensões, possui interface simples e intuitiva que facilita o rápido esboço de projetos, a Figura 54 mostra a interface do software (*SKETCHUP*, 2015).

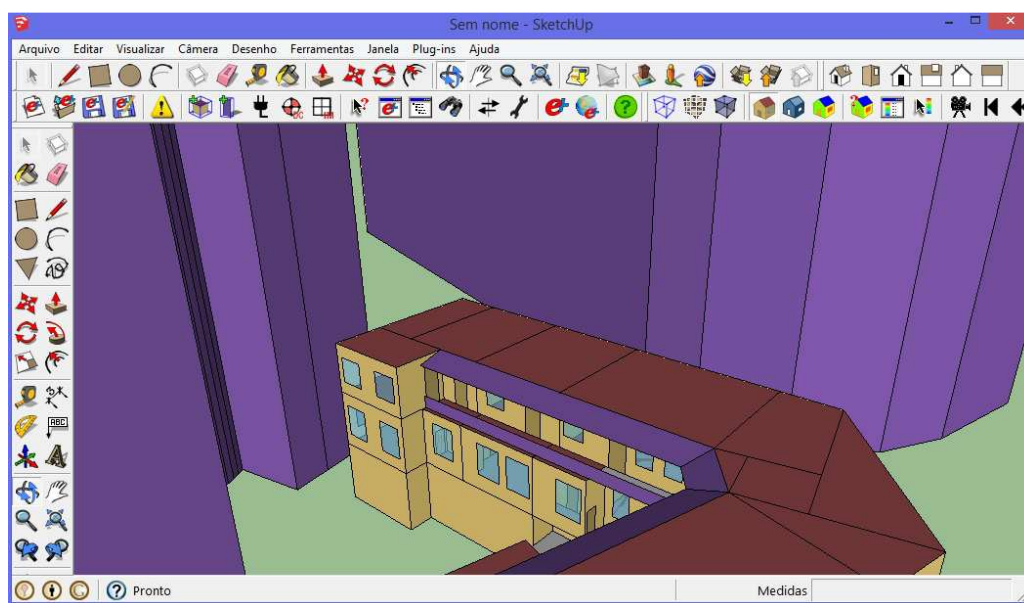


Figura 54 – Interface do *SketchUp*.

Um dos recursos do *SketchUp* é a utilização do *OpenStudio Plugin* que é uma ferramenta que apoia outros softwares na modelagem da edificação inteira para verificação de desempenho energético e térmico usando o software *EnergyPlus*, conforme mostra a Figura 55 (*SKETCHUP*, 2015).

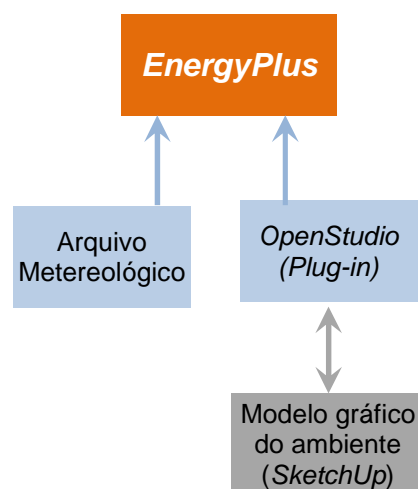


Figura 55 – Arquitetura do Software *EnergyPlus*.
 Fonte: Adaptado de U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2014a).

O *OpenStudio* é um projeto *open-source*, o *Legacy OpenStudio Plug-in* foi criado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia dos Estados Unidos como uma interface para o mecanismo de simulação do *EnergyPlus*, este *plug-in* utilizado no *SketchUp* torna mais fácil criar e editar a geometria de construção de arquivos de entrada do *EnergyPlus*, além disso, também permite realizar as simulações do *EnergyPlus* e visualizar os resultados sem sair do programa de desenho *SketchUp*. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2014a).

APÊNDICE H – Detalhamento da Edificação do Ambiente Analisado

A Tabela 12 demonstra o detalhamento de característica de ocupação, equipamentos e iluminação do prédio do ambiente analisado objeto de estudo deste trabalho.

Tabela 12 – Características do Prédio do Ambiente Analisado.

Ambientes	Pessoas (Quantidades)	Computadores (W)	Equipamentos (W)	Luzes (W)
Sala205	8	3200	300	700
Corredor01Sala206	0	0	0	100
Corredor02Sala206	0	0	0	300
Sala206A	3	1200	300	300
Sala206B	5	2000	300	1000
Sala206D	5	2000	300	1000
Sala206E	5	2000	300	300
Sala206F	5	2000	300	400
Deposito-IEE	0	0	0	100
Sala301	25	10000	300	600
Sala301A	25	400	300	600
Sala302	3	1200	100	300
Sala302A	1	400	100	400
Sala303	40	400	300	1200
PredioParte2	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em visitação aos ambientes.

A Tabela 13 demonstra detalhes dimensionais e cálculo de distribuição de características dos ambientes por área, estes valores são utilizados pelo software de simulação do modelo computacional.

Tabela 13 – Detalhes de Dimensionamentos do Prédio do Ambiente Analisado.

Zona	Área (m ²)	Condicionada (Sim/Não)	Volume (m ³)	Pessoas (pessoas/m ²)	Luzes (W/m ²)	Equipamentos (W/m ²)
Sala205	71,76	Sim	322,92	0,111	9,755	4,181
Corredor01Sala206	9,03	Não	40,64	-	11,074	-
Corredor02Sala206	35,80	Não	161,10	-	8,380	-
Sala206A	30,50	Sim	137,25	0,098	9,836	9,836
Sala206B	43,88	Sim	197,46	0,114	22,789	6,837
Sala206D	56,96	Sim	256,32	0,088	17,556	5,267
Sala206E	32,74	Sim	147,33	0,153	9,163	9,163
Sala206F	28,29	Sim	127,31	0,177	14,139	10,604
Deposito-IEE	8,19	Não	36,86	-	12,210	-
Sala301	67,63	Sim	270,52	0,370	8,872	4,436
Sala301A	60,64	Sim	212,24	0,412	9,894	4,947
Sala302	28,29	Sim	113,16	0,106	10,604	3,535
Sala302A	32,74	Sim	130,96	0,031	12,217	3,054
Sala303	96,88	Não	387,52	0,413	12,386	3,097
PredioParte2	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em projeto básico e visitação aos ambientes.

APÊNDICE I – Materiais do Modelo do Ambiente Analisado

A Tabela 14 demonstra a relação dos materiais utilizados pelo software de simulação para definir as construções do modelo computacional do ambiente analisado.

Tabela 14 – Materiais do Modelo do Ambiente Analisado.

Item	Descrição
01	Air 50mm
02	F06 Ceilingairspaceresistance
03	M01 240mmbrick
04	M02 400mmbrick
05	Eco Lite Verde 10mm
06	Clear3mm
07	Forro de PVC
08	G05 30mmwood
09	G02 50mplywood
10	M14a 100mmheavyweight concrete
11	Metal da Cobertura metálica
12	Parquet
13	Piso cerâmico
14	Reboco com areia 3cm pintado: cor clara

Fonte: Elaborado pelo autor com base em software *EnergyPlus*.

APÊNDICE J – Código do Ajuste de Setpoint do Sistema de Climatização

/*

Ajuste de Setpoint de Resfriamento do Sistema de Climatização
integrado ao Sistema de Automação da *Homesystems*

Este programa executa as seguintes funções ao conecta o *Arduino* ao
servidor *Systembox-301a.ece*:

- * solicita ao sistema de automação do ambiente:
 - * o valor da unidade 465 (sensor de temperatura interna da sala);
 - * o valor da unidade 322 (sensor de temperatura externa da sala); e
 - * o valor da unidade 460 (setpoint do sistema de climatização);
- * Calcula o novo valor de setpoint de resfriamento;
- * Define o novo valor de setpoint de aquecimento;
- * Imprime na tela do LCD as informações solicitadas;
- * Envia ao sistema de automação do ambiente:
 - * o novo valor para a unidade 460 (setpoint do sistema de climatização); e
- * Armazena informações no cartão micro-SD.

Este programa atribui o cliente com um endereço MAC e endereço IP.

Circuito:

- * *Arduino* MEGA 2560;
- * *Ethernet* shield W5100;
- * RTC1307
- * TFT 2.8 LCD

Criado em 27/05/2015
por Marcos Vizzotto

Este programa é uma adaptação de:

<http://Arduino.cc/en/Tutorial/WebClientRepeating>
<http://Arduino.cc/en/Tutorial/ReadWrite>
TCC-UFRGS-Douglas Dal'Bello
*/

```
// Bibliotecas
#define DEBUG
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_TFTLCD.h>
#include <String.h>
#include <stdlib.h>
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
#include <SD.h>
#include <Time.h>
#include <Wire.h>
#include <DS1307RTC.h>
```

```

// Chip Select goes to Analog 3
#define LCD_CS A3
// Command/Data goes to Analog 2
#define LCD_CD A2
// LCD Write goes to Analog 1
#define LCD_WR A1
// LCD Read goes to Analog 0
#define LCD_RD A0
Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, A4);

//Declaração de variáveis importantes do sistema:
// Endereço MAC do Shield Ethernet.
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
// Definição do ip do servidor do sistema de automação (Systembox da Sala 301A).
char server[] = "Systembox-301a.ece";
// Endereço de IP para o Shield Ethernet a ser definido se o DHCP falhar.
IPAddress ip(10,1,241,180);
// Cria uma instância da Classe EthernetClient.
EthernetClient client;
// as 3 strings que serão utilizadas para enviar a mensagem ao Systembox.
String stringOne, stringTwo, stringThree, stringFour;
// last time you connected to the server, in milliseconds
unsigned long lastConnectionTime = 0;
// state of the connection last time through the main loop
boolean lastConnected = false;
// delay between updates, in milliseconds
const unsigned long postingInterval = 30*1000;
// Arquivo para gravação da temperatura.
File myFile;
//Outras variáveis:
char var1, var2, var3, var4, var5, var6, var7, var8;
int i = 0;
int TempInterna = 0;
int TempExterna = 0;
int MenorTempSala = 22;
int MaiorTempSala = 24;
int MenorTempExt = 22;
int MaiorTempExt = 24;
int Relacao = (MaiorTempSala-MenorTempSala)/(MaiorTempExt-MenorTempExt);
int HoraDoDia = 0;
int SetPointResfrRec = 30;
int SetPointResfr = 30;
int SetPointAquec = 16;
int SetPointCalculado = 30;
int SetPointMedido = 30;
int UltimoSetPointEnviado = 30;
int ativado = 0;

void setup() {
  //Inicializa o LCD

```

```

tft.reset();
tft.begin(0x9341);
tft.setTextSize(2);
tft.fillScreen(0);
tft.setRotation(1);
// Inicia a porta serial com BaudRate de 9600
Serial.begin(9600);
Serial.println("Iniciando o Serial.begin...      Inicializacao com exito.");
Serial.print("Configurando a Ethernet com DHCP...  ");
tft.println(F(" Ethernet com DHCP..."));
// Caso a rede não conseguiu configurar automaticamente o ip do shield Ethernet
if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
  Serial.println("Falhou a configuração Ethernet utilizando DHCP");
  Serial.print("Configurando a Ethernet com IP 10.1.241.180...  ");
  // Configura com endereço MAC e IP pré definido (10.1.241.180).
  Ethernet.begin(mac, ip);
}
// Disponibiliza na porta serial o ip adquirido pelo shield Ethernet
Serial.print("My IP address: ");
tft.print(F(" IP: "));
// imprime o valor de cada tipo de IP:
for (byte thisByte = 0; thisByte < 4; thisByte++) {
  Serial.print(Ethernet.localIP()[thisByte], DEC);
  tft.print(Ethernet.localIP()[thisByte], DEC);
  Serial.print(".");
  tft.print(F("."));
}
Serial.println();
delay(1000);
// Inicializar o cartão SD:
Serial.print("Iniciando o cartao SD...      ");
pinMode(53, OUTPUT);
if (!SD.begin(4)) {
  Serial.println("A inicializacao falhou!");
}
Serial.println("Inicializacao com exito.");
Serial.print("Verificando RTClock...      ");
// Atualiza o valor da data e hora, fonte RTC.
setSyncProvider(RTC.get);
if(timeStatus() != timeSet){
  Serial.println("Unable to sync with the RTC");
}
else
  Serial.println("RTC has set the system time");
for (i=0 ; i<4 ; i+=1) {
  digitalWrite(13, HIGH);
  delay(300);
  digitalWrite(13, LOW);
  delay(300);
}
i = 0;

```

```

}

void loop() {
  // Se existem dados de entrada da conexão de rede.
  if (client.available()) {
    // Enviar dados para a porta serial, somente para fins de depuração.
    char c = client.read();
    Serial.print(c);
    //Grava o valor da dezena da temperatura INTERNA na variável var1.
    if (i == 4) var1 = c;
    //Grava o valor da unidade da temperatura INTERNA na variável var2.
    if (i == 5) var2 = c;
    //Grava o valor da dezena da temperatura EXTERNA na variável var3.
    if (i == 16) var3 = c;
    //Grava o valor da unidade da temperatura EXTERNA na variável var4.
    if (i == 17) var4 = c;
    //Grava o valor da unidade do setpoint na variável var7.
    if (i == 28) var7 = c;
    //Grava o valor da unidade do setpoint na variável var8.
    if (i == 29) var8 = c;
    i++;
  }
  // Se não houver conexão de rede, mas havia no último loop, fechar o cliente:
  if (!client.connected() && lastConnected ) {
    client.stop();
    #ifdef DEBUG
      tft.fillScreen(0);
      tft.setCursor(0,0);
      tft.println(F(""));
      tft.println(F(" AjusteDeSetpointSala301A"));
      tft.print(F(" Data: "));
      tft.print(day());
      tft.print(F("/"));
      tft.print(month());
      tft.print(F("/"));
      tft.println(year());
      tft.print(F(" Horario: "));
      tft.print(hour());
      tft.print(F(":"));
      if(minute() < 10)
        tft.print(F("0"));
      tft.print(minute());
      tft.print(F(":"));
      if(second() < 10)
        tft.print(F("0"));
      tft.println(second());
      tft.println(F(""));
    #endif
    Serial.print(hour());
    Serial.print(":");
  }
}

```

```

if(minute() < 10)
    Serial.print('0');
Serial.print(minute());
Serial.print(":");
if(second() < 10)
    Serial.print('0');
Serial.println(second());
Serial.print("");
Serial.print(day());
Serial.print("/");
Serial.print(month());
Serial.print("/");
Serial.print(year());
Serial.println();
int varDezena1 = var1 - '0';
int varUnidade1 = var2 - '0';
TempInterna = varDezena1*10+varUnidade1;
Serial.print("TempInterna: ");
Serial.println(TempInterna);
int varDezena2 = var3 - '0';
int varUnidade2 = var4 - '0';
TempExterna = varDezena2*10+varUnidade2;
Serial.print("TempExterna: ");
Serial.println(TempExterna);
#ifdef DEBUG
    tft.print(F(" TempInterna: "));
    tft.println(TempInterna);
    tft.print(F(" TempExterna: "));
    tft.println(TempExterna);
    tft.println(F(""));
#endif
#endif
if((hour() == 8) && (minute() >= 30)) {
    AjusteDeSetPoint();
}
else {
    if((hour() >= 9) && (hour() <=11)) {
        AjusteDeSetPoint();
    }
    else {
        if((hour() == 12) && (minute() <=10)) {
            AjusteDeSetPoint();
        }
        else {
            if((hour() == 13) && (minute() >=30)) {
                AjusteDeSetPoint();
            }
            else {
                if((hour() >= 14) && (hour() <=16) ){
                    AjusteDeSetPoint();
                }
            }
        }
    }
}

```

```

else {
  if((hour() == 17) && (minute() <=10) ){
    AjusteDeSetPoint();
  }
  else {
    SetPointResfr = 22;
    SetPointAquec = 16;
  }
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}
//Envia o novo valor de setpoint de resfriamento.
EnviarSetpoint(SetPointResfr);

int varDezena3 = var7 - '0';
int varUnidade3 = var8 - '0';
SetPointResfrRec = varDezena3*10+varUnidade3;
Serial.print("SetPointResfr: ");
Serial.println(SetPointResfrRec);
Serial.print("SetPointAquec: ");
Serial.println(SetPointAquec);
Serial.println();
#ifdef DEBUG
  tft.print(F(" SetPointResfr: "));
  tft.println(SetPointResfrRec);
  tft.print(F(" SetPointAquec: "));
  tft.println(SetPointAquec);
  tft.println(F(""));
  tft.println(F(" Atualizacoes a cada 30s."));
  tft.println(F(""));
#endif
GravarSDCard();
i = 0;
}
if(!client.connected() && (millis() - lastConnectionTime > postingInterval)) {
  SolicitaDados("get",465,322,460);
}
// Armazenar o estados da conexão para o próximo loop:
lastConnected = client.connected();
}

// Função calcula o novo valor de setpoint de resfriamento:
void AjusteDeSetPoint(){
  var5 = MenorTempSala + (TempExterna - MenorTempExt) * Relacao;
  if (MaiorTempSala >= var5) {
    var6 = var5;
  }
  else {

```



```

    var6 = MaiorTempSala;
}
if (MenorTempSala >= var6) {
    SetPointResfr = MenorTempSala;
    SetPointAquec = 16;
}
else {
    SetPointResfr = var6;
    SetPointAquec = 16;
}
}

// Função que faz a solicitação das temperaturas Interna, Externa e valor de
// setpoint por meio de conexão HTTP para o servidor:
void SolicitaDados(String page, int unit1, int unit2, int unit3) {
    if (client.connect(server, 80)) {
        stringOne = "GET /monitor/monitor.cgi?ref_page=";
        stringTwo = "&unit=";
        stringThree = ",";
        stringFour = stringOne + page + stringTwo + unit1 + stringThree + unit2 + stringThree +
unit3;
        client.println(stringFour);
        // Gravar o tempo de conexão bem sucedida:
        lastConnectionTime = millis();
    }
    else {
        //caso não tenha conseguido se conectar com o Systembox envia mensagem de erro.
        Serial.println("Nao conseguiu solicitar temperatura");
        #ifdef DEBUG
            tft.fillScreen(0);
            tft.setCursor(1,0);
            tft.println(F("Nao conseguiu solicitar"));
        #endif
        //quando termina o envio da mensagem encerra o client.
        client.stop();
    }
}

// Função que envia o novo setpoint por meio de conexão HTTP para o servidor:
void EnviarSetpoint(int newvalue) {
    if (client.connect(server, 80)) {
        stringOne = "GET /monitor/monitor.cgi?ref_page=set&unit=460&newvalue=";
        stringTwo = stringOne + newvalue;
        client.println(stringTwo);
        //quando termina o envio da mensagem encerra o client.
        client.stop();
    }
    else {
        //caso não tenha conseguido se conectar com o Systembox envia mensagem de erro.
        Serial.println("Não conseguiu enviar o SetPointResfr");
    }
}

```

```

#ifdef DEBUG
    tft.fillScreen(0);
    tft.setCursor(1,0);
    tft.println(F("Não consegui enviar"));
#endif
}
}

// Função que armazena na sequencia Horário, Data, Temperatura Interna,
// Temperatura Externa, Setpoint de Resfriamento e Setpoint de Aquecimento.
void GravarSDCard () {
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        myFile.print(hour());
        myFile.print(":");
        if(minute() < 10) myFile.print('0');
        myFile.print(minute());
        myFile.print(":");
        if(second() < 10) myFile.print('0');
        myFile.print(second());
        myFile.print(";");
        myFile.print(day());
        myFile.print(";");
        myFile.print(month());
        myFile.print(";");
        myFile.print(year());
        myFile.print(";");
        myFile.print(TempInterna);
        myFile.print(";");
        myFile.print(TempExterna);
        myFile.print(";");
        myFile.print(SetPointResfrRec);
        myFile.print(";");
        myFile.println(SetPointAquec);
        digitalWrite(13, HIGH);
        delay(2000);
        digitalWrite(13, LOW);
    }
    myFile.close();
}
}

```

APÊNDICE K – Detalhamento da Edificação do NERCI

A Tabela 15 demonstra os detalhes dimensionais e cálculo de distribuição de características dos ambientes por área, estes valores são utilizados pelo software de simulação do modelo computacional da futura edificação do NERCI.

Tabela 15 – Detalhamento da Edificação do NERCI.

Zona	Área (m ²)	Condicionada (Sim/Não)	Volume (m ³)	Pessoas (pessoas/m ²)	Luzes (W/m ²)	Equipamentos (W/m ²)
Banheiro Feminino	4,65	Não	13,95	0,00	32,26	0,00
Banheiro Masculino	4,65	Não	13,95	0,00	32,26	0,00
Banheiro Port. de Mob. 1	2,55	Não	7,65	0,00	19,61	0,00
Banheiro Port. de Mob. 2	2,55	Não	7,65	0,00	19,61	0,00
Banheiro Prof. Feminino	6,30	Não	18,90	0,00	31,75	0,00
Banheiro Prof. Masculino	6,30	Não	18,90	0,00	31,75	0,00
Depósito	3,52	Não	10,56	0,00	28,41	0,00
Gabinete Dout. eMest. 01	13,20	Sim	39,60	0,379	22,73	56,82
Gabinete Dout. eMest. 02	14,08	Sim	42,24	0,355	21,31	53,27
Gabinete Dout. eMest. 03	14,08	Sim	42,24	0,355	21,31	53,27
Gabinete Dout. eMest. 04	13,86	Sim	41,58	0,361	21,65	54,11
Gabinete Professores 01	10,62	Sim	31,86	0,188	18,83	28,25
Gabinete Professores 02	11,26	Sim	33,78	0,178	17,76	26,64
Gabinete Professores 03	11,26	Sim	33,78	0,178	17,76	26,64
Gabinete Professores 04	10,63	Sim	31,89	0,188	18,81	28,22
Gabinete Professores 05	9,12	Sim	27,36	0,110	21,93	32,89
Jardim/Escada/Corred.	121,90	Não	731,40	0,00	17,23	0,00
Lab. Ensaios Automação	127,23	Sim	381,69	0,00	16,51	12,97
Plat. de Elevação	3,00	Não	18,00	0,00	0,00	0,00
Sala de Controle	5,76	Sim	17,28	0,347	17,36	26,04
Sala de Aula	55,88	Sim	167,64	0,358	21,47	66,21
Sala de Informática	13,86	Sim	41,58	0,00	21,65	108,23
Sala de projetos	66,28	Sim	198,84	0,151	25,65	67,89
Sala de Reuniões	21,12	Sim	63,36	0,00	21,31	26,04
Secretaria	13,20	Sim	39,60	0,152	22,73	53,03
Shaft 02	0,45	Não	2,70	0,00	0,00	0,00
Shaft 03	1,42	Não	8,52	0,00	70,42	0,00
Controle de Acesso	3,52	Sim	10,56	0,00	14,20	42,61

Fonte: Elaborado pelo autor com base em KEBES, 2010.

APÊNDICE L – Características da Edificação do NERCI

A Tabela 16 demonstra os detalhamentos de característica de ocupação, equipamentos e iluminação da futura edificação do NERCI.

Tabela 16 – Características da Edificação do NERCI.

Zona	Pessoas (Quantidades)	Computadores (W)	Equipamentos (W)	Luzes (W)
Banheiro Feminino	0	-	-	150
Banheiro Masculino	0	-	-	150
Banheiro Port. de Mob. 1	0	-	-	50
Banheiro Port. de Mob. 2	0	-	-	50
Banheiro Prof. Feminino	0	-	-	200
Banheiro Prof. Masculino	0	-	-	200
Depósito	0	-	-	100
Gabinete Dout. eMest. 01	5	750	-	300
Gabinete Dout. eMest. 02	5	750	-	300
Gabinete Dout. eMest. 03	5	750	-	300
Gabinete Dout. eMest. 04	5	750	-	300
Gabinete Professores 01	2	300	-	200
Gabinete Professores 02	2	300	-	200
Gabinete Professores 03	2	300	-	200
Gabinete Professores 04	2	300	-	200
Gabinete Professores 05	1	300	-	200
Jardim/Escada/Corred.	0	-	-	2100
Lab. Ensaios Automação	0	150	1500	2100
Plat. de Elevação	0	-	-	0
Sala de Controle	2	150	-	100
Sala de Aula	20	3300	400	1200
Sala de Informática	0	1500	-	300
Sala de projetos	10	4500	-	1700
Sala de Reuniões	0	150	400	450
Secretaria	2	300	400	300
Shaft 02	0	-	-	0
Shaft 03	0	-	-	100
Controle de Acesso	0	150	-	50

Fonte: Elaborado pelo autor com base em KREBES³, 2010.

³ KREBES, C. Projeto Arquitetônico do Prédio Núcleo de Excelência em Redes de Comunicações Industriais. 2010.

APÊNDICE M – Construções do Modelo da Edificação do NERCI

A Tabela 17 demonstra a relação das construções com os materiais utilizados, estes materiais estão especificados no APÊNDICE N, estas construções são utilizadas pelo software de simulação para definir as construções do modelo computacional da futura Edificação do NERCI.

Tabela 17 – Construções do Modelo da Edificação do NERCI.

Janela		
1	Janela Externa Vidro Duplo	OutsideLayer:Eco Lite Verde 4mm Layer2: Air 15mm Layer3: Float Incolor 4mm
2	Janela Externa Vidro Simples	OutsideLayer:Eco Lite Verde 4mm
3	Janela Interna	OutsideLayer:Float Incolor 4mm
4	Janela do Teto do Jardim	OutsideLayer:Float Incolor 6mm + Película Plástica (PVB) Layer2: Float Incolor 6mm
5	Janela do Teto do Laboratorio	OutsideLayer:ClearAcrylicPlastic Layer2: Air 500mm Layer3: DiffusingAcrylicPlastic
Porta/Portão		
6	Porta Externa	OutsideLayer: F08 Metal surface
7	Portao Externo	OutsideLayer: G04 13mmwood Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: G04 13mm wood
8	Porta Interna	OutsideLayer: G05 25mmwood
Parede		
9	Parede 25cm	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: Bloco 19 cm Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
10	Parede 25cm mais Fachada Ventilada	OutsideLayer: Porcelanato dos paineis na cor palha Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: Poliuretano 30mm Layer4: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer5: Bloco 19 cm Layer6: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
11	Parede 25cm mais Fachada Ventilada para Banheiro	OutsideLayer: Porcelanato dos paineis na cor palha Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: Poliuretano 30mm Layer4: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer5: Bloco 19 cm Layer6: Argamassa Layer7: Revestimento cerâmico
12	Parede 22,3cm em Alumínio e Madeira	OutsideLayer: Alumínio 1.0mm Branco Layer2: Poliuretano 30mm Layer3: Alumínio 1.0mm Layer4: F05 Ceilingairspaceresistance Layer5: G02 16mm plywood
13	Parede 15cm	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: Bloco 09 cm Layer3: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
14	Parede 15cm da Zona para o Banheiro	OutsideLayer: Revestimento cerâmico Layer2: Argamassa Layer3: Bloco 09 cm Layer4: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara

15	Parede 15cm do Banheiro para o Banheiro	OutsideLayer: Revestimento cerâmico Layer2: Argamassa Layer3: Bloco 09 cm Layer4: Argamassa Layer5: Revestimento cerâmico
16	Parede 15cm do Banheiro para a Zona	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: Bloco 09 cm Layer3: Argamassa Layer4: Revestimento cerâmico
17	Parede 10cm de Divisoria em Madeira	OutsideLayer: G02 16mmplywood Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: G02 16mm plywood
Piso/Teto/Telhado		
18	Piso Terreo	OutsideLayer: M14a 100mmheavyweight concrete Layer2: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
19	Piso Terreo do Banheiro	OutsideLayer: M14a 100mmheavyweight concrete Layer2: Argamassa Layer3: Piso cerâmico
20	Teto Terreo	OutsideLayer: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete
21	Teto Terreo Banheiro	OutsideLayer: Piso cerâmico Layer2: Argamassa Layer3: M14a 100mm heavyweight concrete Layer4: F05 Ceilingairspaceresistance Layer5: Gesso
22	Teto Laboratório	OutsideLayer: ThickSoil Layer2: M14a 100mm heavyweight concrete
23	Piso Segundo Pavimento	OutsideLayer: M14a 100mmheavyweight concrete Layer2: Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
24	Piso Segundo Pavimento do Banheiro	OutsideLayer: Gesso Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: M14a 100mm heavyweight concrete Layer4: Argamassa Layer5: Piso cerâmico
25	Teto Segundo Pavimento com Laje	OutsideLayer: M11 100mmlightweight concrete
26	Teto Segundo Pavimento com Laje Telhado	OutsideLayer: Metal da Cobertura metálica Layer2: Poliuretano 50mm Layer3: Metal da Cobertura metálica Layer4: F05 Ceilingairspaceresistance Layer5: M11 100mm lightweight concrete
27	Teto Segundo Pavimento com Gesso Laje	OutsideLayer: M11 100mmlightweight concrete Layer2: F05 Ceilingairspaceresistance Layer3: Gesso
28	Teto Segundo Pavimento com Gesso Laje Telhado	OutsideLayer: Metal da Cobertura metálica Layer2: Poliuretano 50mm Layer3: Metal da Cobertura metálica Layer4: F05 Ceilingairspaceresistance Layer5: M11 100mm lightweight concrete Layer6: F05 Ceilingairspaceresistance Layer7: Gesso
29	Teto Jardim Interno	OutsideLayer: Alumínio 1.0mm Branco

Fonte: Elaborado pelo autor com base em software *EnergyPlus*.

APÊNDICE N – Materiais do Modelo da Edificação do NERCI

A tabela 18 demonstra a relação dos materiais utilizados pelo software de simulação para definir as construções do modelo computacional da futura edificação do NERCI.

Tabela 18 – Materiais do Modelo da Edificação do NERCI.

Item	Descrição
1	Eco Lite Verde 4mm
2	Air 15mm
3	Float Incolor 4mm
4	Float Incolor 6mm
5	Float Incolor 6mm+ Película Plástica (PVB)
6	ClearAcrylicPlastic
7	Air 500mm
8	DiffusingAcrylicPlastic
9	F08 Metal surface
10	G04 13mmwood
11	F05 Ceilingairspaceresistance
12	G05 25mmwood
13	Reboco com areia 3cm pintado: cor clara
14	Bloco 19 cm
15	Porcelanato dos paineis na cor palha
16	Poliuretano30mm
17	Argamassa
18	Revestimento cerâmico
19	Aluminio 1.0mm Branco
20	Aluminio 1.0mm
21	G02 16mmplywood
22	Bloco 09 cm
23	M14a 100mmheavyweight concrete
24	Piso cerâmico
25	Gesso
26	ThickSoil
27	M11 100mmlightweight concrete
28	Metal da Cobertura metálica
29	Poliuretano 50mm

Fonte: Elaborado pelo autor com base em software *EnergyPlus*.