

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA CLIMATIZAÇÃO
PASSIVA PARA AS SALAS DE AULA DO CENTRO DE
TECNOLOGIA DA UFSM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Denise de Souza Saad

**Santa Maria, RS, Brasil
2018**

Denise de Souza Saad

**PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA CLIMATIZAÇÃO PASSIVA PARA AS
SALAS DE AULA DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM**

Dissertação apresentada ao Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil
2018

Saad, Denise de Souza

Proposta de Estratégias para Climatização Passiva para
as Salas de Aula do Centro de Tecnologia da UFSM /
Denise de Souza Saad.- 2018.

97 p.; 30 cm

Orientador: Joaquim César Pizzutti dos Santos

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Climatização Passiva. 2. Salas de Aula. 3.
Desempenho. 4. NBR 15575 I. Pizzutti dos Santos,
Joaquim César II. Título.

Denise de Souza Saad

**PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA CLIMATIZAÇÃO PASSIVA PARA AS
SALAS DE AULA DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM**

Dissertação apresentada ao Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 31 de agosto de 2018.

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Clarissa de Oliveira Pereira, Dra. (UFN)

Caryl Eduardo Jovanovich Lopes, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as graças obtidas na minha vida.

A meus pais, *in memoriam*, Elias e Terezinha, que fizeram todos os esforços possíveis e impossíveis para que eu atingisse todos os meus objetivos profissionais.

A minha irmã Dani e meu cunhado Vini, pelo apoio incondicional em todas as horas.

Ao meu orientador e colega, Joaquim Cesar Pizzuti dos Santos, por aceitar me orientar e me despertar para a área.

Aos Professores Clarissa de Oliveira Pereira e Caryl Lopes por aceitarem participar da banca. Suas contribuições serão muito importantes.

Ao Professor Eduardo Gralla e Gabriel Queiroz pelos ensinamentos do programa computacional *EnergyPlus*.

A PPGEC, coordenação, secretaria, professores e alunos, por me proporcionar aprimorar meus conhecimentos.

Aos meus colegas queridos Laura, Fabio e Naiara, pela grande parceria. Sentirei muita saudade!!!!

RESUMO

PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA CLIMATIZAÇÃO PASSIVA PARA AS SALAS DE AULA DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFSM

AUTOR: Denise de Souza Saad

ORIENTADOR: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de Agosto de 2018.

Neste trabalho foram avaliadas estratégias passivas para climatização das salas de aula do Centro de Tecnologia da UFSM. Inicialmente foram apresentados o tema a ser desenvolvido, os objetivos geral e específicos, a justificativa e a estrutura do trabalho. Após, procedeu-se a revisão referente ao assunto, descrevendo o histórico da sustentabilidade e as certificações existentes, o panorama do setor elétrico, a eficiência energética e o Selo Procel, além de abordar a simulação computacional e o programa *Energyplus*. Na metodologia, inicialmente foram determinadas as salas que seriam avaliadas, a sala 236, localizada no segundo pavimento e a sala 301, localizada no terceiro pavimento, nas condições críticas indicadas pela norma NBR 15575 (2013). A sala 236 foi avaliada para o período de inverno e a solução foi o emprego de esquadria de vidro duplo. Para a sala 301 foi avaliado o emprego de ventilação, isolamento térmico da cobertura, cobertura com telha metálica e proteção solar. Para a sala 236 o melhor resultado foi aquele que empregou esquadria com vidro duplo, empregando vidro incolor liso de 3 mm, com transmitância térmica de $2,731 \text{ W/m}^2\text{K}$, sem infiltração. Para a sala 301, a melhor solução foi o emprego de isolamento térmico na laje de cobertura, com transmitância térmica de $0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$, ventilação de 15 renovações de ar por hora e o uso de proteção solar na parede oeste e telhas metálicas com $\alpha=0,15$. Também foram avaliados o consumo de energia para as soluções, onde a melhor solução para a sala 236 trouxe uma redução do consumo energético de 36% e para a sala 301 a redução foi de 22%. Outra análise realizada foi o atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 (2013), após o emprego das estratégias passivas, a sala 236 apresenta desempenho superior e a sala 301 apresenta o desempenho intermediário. Ao final do trabalho foram apresentadas as conclusões e propostas para futuros trabalhos.

Palavras - Chave: Climatização Passiva. Salas de Aula. Desempenho. NBR 15575

ABSTRACT

PROPOSAL OF STRATEGIES FOR PASSIVE CLIMATIZATION FOR THE CLASSROOMS OF THE TECHNOLOGY CENTER FROM UFSM

AUTHOR: Denise de Souza Saad

SUPERVISER: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Date and Place of Defense: Santa Maria, August 31, 2018.

In this work, passive strategies for air conditioning in the classrooms of the UFSM Technology Center were evaluated. In this work, the topic to be developed, the general and specific objectives, the justification and the work structure were presented. Afterwards, a review was made regarding the subject, describing the history of sustainability and the existing certifications, the panorama of the electric sector, the energy efficiency and the Procel Seal, besides addressing the computational simulation and the EnergyPlus program. In the methodology, it was initially determined the rooms that would be evaluated, room 236, located on the second floor and room 301, located on the third floor, under the critical conditions indicated by the norm NBR 15575(2013). Room 236 was evaluated for the winter period and the solution was the use of double glass miter. For room 301 were evaluated the use of ventilation, thermal insulation of the roof, roofing with metallic tile and sun protection. For room 236 the best result was the one that used double glazing, employing 3mm smooth colorless glass, with thermal transmittance of $2,731 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$, without infiltration. For room 301, the best solution was the use of thermal insulation in the roof slab, with thermal transmittance of $0.621 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$, ventilation of 15 air changes per hour and the use of solar protection on the west wall and metal roofing $\alpha = 0.15$. The energy consumption for the solutions was also evaluated, where the best solution for room 236 brought a reduction in energy consumption of 36% and for room 301 the reduction was of 22%. Another analysis was the fulfillment of the criterion of performance of NBR 15575 (2013) after passive strategies, room 236 performs superior performance and room 301 presents intermediate performance. At the end of the paper, the conclusions and proposals for future work were presented.

Keywords: Passive acclimation. Classrooms. Performance. NBR 15575

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Qualidade de um edifício verde	20
Figura 2 – Diferentes tipos de Selos LEED	23
Figura 3 – Certificação Selo Casa Azul, níveis Ouro, Prata e Bronze	26
Figura 4 – Desperdício de energia no ano de 2014	28
Figura 5 – Selo Procel Edifica	29
Figura 6 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	30
Figura 7 – Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Calor (U)	31
Figura 8 – Composição de painéis e paredes avaliados	33
Figura 9 – Valores de Resistência Térmica e Capacidade Térmica dos diversos painéis	34
Figura 10 – Atraso térmico em horas para os painéis analisados	34
Figura 11 – Resultados da Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator Solar	36
Figura 12 – Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico	39
Figura 13 – Fluxograma do processo de simulação de desempenho de uma edificação	43
Figura 14 – Etapas do processo de simulação do desempenho térmico das edificações	43
Figura 15 – Etapas de modelagem no programa <i>EnergyPlus</i>	44
Figura 16 – Módulos de simulação integrada do <i>EnergyPlus</i>	46
Figura 17 – Organograma com as etapas desenvolvidas na pesquisa	50
Figura 18 – Programa <i>SketchUp</i> 2015	51
Figura 19 – <i>EP-Launch</i>	52
Figura 20 – <i>IDF-Editor</i> com Dia Típico de Inverno e de Verão	52
Figura 21 – Clima temperado e mesotérmico da cidade de Santa Maria	55
Figura 22 – Santa Maria, Bairro Camobi e a UFSM	55
Figura 23 – Organização Espacial do Campus da UFSM.	56
Figura 24 – Mapa da UFSM.	57
Figura 25 - Vista aérea Prédio do Centro de Tecnologia	58
Figura 26 – Centro de Tecnologia da UFSM	58
Figura 27 – Centro de Tecnologia - Plantas Baixas do Edifício	59
Figura 28 – Centro de Tecnologia – Cortes e fachadas do Edifício	60
Figura 29 – Fachada Leste do Centro de Tecnologia apresentando os cobogós	60
Figura 30 – Fachada Oeste do Centro de Tecnologia apresentando proteção solar	61
Figura 31 – Fachada Leste do Centro de Tecnologia elaborada no <i>Sketchup</i> 15	67
Figura 32 – Fachada Oeste do Centro de Tecnologia elaborada no <i>Sketchup</i> .15	67
Figura 33 - Energia para Aquecimento no Inverno da Sala 236 na situação atual	68
Figura 34 – Dia Típico de inverno na sala 236 na situação atual, sem ar condicionado, com ventilação de 1 Ren/h e sem ventilação	69
Figura 35 – Ganhos e Perdas Térmicas na sala 236, com esquadria de vidro liso 3mm, sem condicionamento artificial e com infiltração de 1 Ren/h.	70
Figura 36 - Ganhos e Perdas Térmicas na sala 236 sem condicionamento artificial e sem infiltração e com esquadria de vidro simples	71
Figura 37 - Dia Típico de inverno na sala 236 na situação atual, sem ar condicionado e sem ventilação e com ventilação de 1 Ren/h	72
Figura 38 – Fluxo Térmico da Sala 236 sem condicionamento artificial, com ventilação de 1 Ren/h, com esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm+ar+vidro liso 3 mm)	73
Figura 39 – Fluxo Térmico da Sala 236 sem condicionamento artificial e sem infiltração, com esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm+ar+vidro liso 3 mm)	73

Figuras 40 – Energia dispendida para Aquecimento da Sala 236 para o período de inverno na situação atual e com vidro duplo	75
Figura 41 – Energia para Resfriamento da Sala 301 no verão	76
Figura 42 – Dia Típico de verão na sala 301 na situação atual, sem ar condicionado e sem ventilação e com ventilação de 1 Ren/h	77
Figura 43 – Fluxos Térmicos na sala 301, sem condicionamento artificial e com infiltração de 1 Ren/h	78
Figura 44 – Fluxos Térmicos na sala 301, sem condicionamento artificial e sem Infiltração	78
Figura 45 – Dia Típico de verão para a sala 301 ventilada com 5, 10 e 15 Ren/h e isolamento térmico na cobertura	80
Figura 46 – Temperatura média na sala 301, mantendo a mesma transmitância e variando a ventilação.	80
Figura 47 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 5 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura	81
Figura 48 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 10 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura	82
Figura 49 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 15 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura	82
Figura 50 – Valores de perdas em função da ventilação (W)	83
Figura 51 – Comparativo do Dia típico de Verão para sala 301 condicionada artificialmente, ventilada com 15 renovações de ar por hora e com a troca para telhado metálico	84
Figura 52 – Fluxo Térmico Sala 301 com isolamento térmico na cobertura, ventilação de 15 Ren/h e cobertura com telha metálica	85
Figura 53 - Maquete eletrônica do Centro de Tecnologia com a sala 301 com emprego de proteção solar na fachada oeste	86
Figura 54 – Dia Típico de verão na sala 301 ventilada com 15 renovações de ar por hora, isolamento térmico na cobertura, cobertura metálica e emprego de proteção solar	86
Figura 55 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 15 renovações de ar por hora, isolamento térmico, cobertura metálica e proteção solar na fachada oeste	87
Figura 56 – Energia dispendida para Resfriamento da Sala 301 no período de verão na situação atual e com isolamento térmico, cobertura metálica, ventilação de 15 Ren/h e proteção solar	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas para Certificações de Edificações Sustentáveis	21
Quadro 2 – Principais certificações de construção sustentável no Brasil	22
Quadro 3 – Categorias do Processo AQUA	25
Quadro 4 – Recomendações da Zona Bioclimática 2 na NBR 15220-2	36
Quadro 5 – Quadro resumo das estratégias bioclimáticas das Zonas Bioclimáticas 2	37
Quadro 6 – Desempenho Térmico para Condições de Verão	40
Quadro 7 – Desempenho Térmico para Condições de Inverno	40
Quadro 8 – Modelagem Básica para simulação	48
Quadro 9 – Simulações realizadas na Sala 236	53
Quadro 10 – Simulações realizadas na Sala 301	54
Quadro 11– Valores de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica dos Fechamentos Opacos Verticais da Edificação	62
Quadro 12 – Propriedades térmicas dos vidros empregados	62
Quadro 13 – Propriedades dos fechamentos opacos de cobertura	63
Quadro 14 - Atendimento da Sala 236 a NBR 15575 (2013), empregando esquadria de vidro duplo, sem infiltração	174
Quadro 15 - Atendimento da Sala 301 a NBR 15575 (2013), empregando ventilação com 15 Ren/h e proteção solar	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
Cm	Centímetro
CT	Centro de Tecnologia
GJ	Giga Joule
ISSO	Organização Internacional de Normalização
MG	Minas Gerais
NBR	Normas Brasileiras
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações
PROCEL	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
Ren/h	Renovações de ar por hora
RS	Rio Grande do Sul
RT	Resistência Térmica
RTQ-C	Regulamento Técnico de Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico de Qualidade de Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
TWh	Tera Watt hora
U	Transmitância térmica
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
W/m ² K	Quantidade de calor pela resistência térmica do componente
°C	Graus Celsius
α	Absortância à Radiação Solar
λ	Condutividade Térmica
W	Watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 SUSTENTABILIDADE NAS CONSTRUÇÕES E AS CERTIFICAÇÕES	18
2.2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O SELO PROCEL	27
2.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	31
2.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E O PROGRAMA <i>ENERGYPLUS</i>	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 DESCRIÇÃO E CONFIGURAÇÕES DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO	54
3.1.1 Caracterização do Município e da área em estudo	54
3.1.2 Centro de Tecnologia	57
3.1.2.1 Propriedades Térmicas dos Fechamentos da Edificação empregados na Simulação	62
3.1.2.2 Padrões de Uso e Ocupação, Atividade, Iluminação, Equipamentos e Ar Condicionado	63
3.1.2.2.1 Padrões de Uso e Ocupação	63
3.1.2.2.2 Atividade	64
3.1.2.2.3 Iluminação, Equipamentos e Ar Condicionado	64
3.2 SIMULAÇÕES DA SALA 236 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O INVERNO	64
3.2.1 Avaliação do consumo de energia na sala 236 condicionada artificialmente, na situação atual, com e sem infiltração	64
3.2.2 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 ventilada naturalmente na situação atual	65
3.2.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 236 com a alteração para esquadria de vidro duplo	65
3.2.3.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575	65
3.2.4 Avaliação do consumo de energia na situação atual e com modificação da esquadria com vidro duplo sem infiltração	65
3.3 SIMULAÇÕES DA SALA 301 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O VERÃO	65
3.3.1 Simulação para a sala 301 na situação atual, condicionada artificialmente	65
3.3.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 301, sem ar condicionado e sem e com infiltração de 1 Ren/h	65
3.3.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301 com ventilação interna 5, 10 e 15 renovações de ar por hora e emprego de isolamento térmico na cobertura	66
3.3.4 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica	66

3.3.5 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos da sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica e proteção solar na fachada Oeste	66
3.3.5.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 com emprego de proteção solar na sala 301	66
3.3.6 Avaliação do consume de energia com isolamento térmico, telha metálica, proteção solar e sem infiltração	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 SIMULAÇÕES DA SALA 236 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O INVERNO	68
4.1.1. Avaliação do consumo de energia na sala 236 condicionada artificialmente, na situação atual, com e sem infiltração	68
4.1.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 ventilada naturalmente na situação atual	69
4.1.3. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 com a alteração para esquadria de vidro duplo	71
4.1.3.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575	74
4.2 SIMULAÇÕES DA SALA 301 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O VERÃO	75
4.2.1 Simulação para a sala 301 na situação atual, condicionada artificialmente	76
4.2.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301. Sem ar condicionado e sem e com infiltração de 1 Ren/h	76
4.2.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301 com ventilação interna 5, 10 e 15 renovações de ar por hora e emprego de isolamento térmico na cobertura	79
4.2.4 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica com isolamento térmico	83
4.2.5 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora e avaliação de desempenho na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica e proteção solar na fachada oeste	85
4.2.5.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 com emprego de proteção solar na sala 301	87
5. CONCLUSÃO	89
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A sociedade atual está se conscientizando, cada vez mais, da grande quantidade de matéria-prima que está sendo desperdiçada e de toda a destruição causada pelo consumo exacerbado, o elevado desperdício de energia e água, bem como toda a poluição que é causada com o descarte dos mais diferentes tipos de resíduos e que estão afetando o planeta, numa via sem retorno.

Alterações climáticas, devido ao aquecimento global, têm provocado grandes tragédias ao redor do mundo, o que tem causado perdas tanto humanas, quanto econômicas, mas ainda tem-se dado pouca importância a esse problema. Com relação à degradação ambiental, pode-se citar o caso que ocorreu em novembro de 2015, da destruição da cidade de Mariana (MG), no qual houve o rompimento da barragem da mineradora Samarco e que foram lançados 34 milhões de lama de rejeito no meio ambiente (FREITAS et al., 2016)

Na sociedade, todos os agentes envolvidos necessitam desenvolver uma consciência preservacionista, pois é necessário ter-se ciência que o meio ambiente é limitado e que é urgente mudar esta atitude.

A partir da década de 70 do século XX, com a crise energética em nível mundial, tem sido priorizada a redução de combustível fóssil. Além disso, sabe-se que emissões de gases de efeito estufa, advindos na sua maioria desses combustíveis, a nível global devem ser reduzidos, conforme o acordo de Paris, tornando a questão energética prioritária.

Apesar de no Brasil a matriz energética ser fortemente sustentável, pois está embasada principalmente em usinas hidrelétricas, mas quando ocorrem problemas como menor regime de chuvas, as usinas termelétricas são acionadas. Estas usinas, devido ao combustível empregado, provocam poluição e maior emissão de gases de efeito estufa, prejudicando o meio ambiente, além da elevação do preço da energia. Portanto, faz-se necessário uma maior conscientização da sociedade para que essa procure reduzir o consumo de energia elétrica, utilizando-a com maior eficiência,

No Brasil, desde a década de 80 surgiu a preocupação com a eficiência energética. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel, instituído em 1985, é um programa governamental, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobras, com o objetivo de promover o uso eficiente da energia e combater o desperdício da mesma. Inicialmente, o programa surge com foco em equipamentos, mas a partir de 2014

as edificações também foram incluídas, através do Selo Procel Edificações, objetivando identificar as edificações com melhor desempenho energético e com maior eficiência.

Em relação às edificações, já no ano de 2005 é publicada a norma NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações e no ano 2008 é sancionada a NBR 15575, que estabelece critérios de desempenho de edificações habitacionais, incluindo o desempenho térmico dos ambientes.

Cabe salientar que as características construtivas de prédios são importantes para um desempenho termoenergético adequado, com um consumo de energia mais eficiente. O uso de todos os recursos possíveis para tal objetivo deve ser empregado, como equipamentos com baixo consumo de energia, iluminação e condicionamento de ar adequados e propostas de soluções arquitetônicas que melhorem esse desempenho, proporcionando melhores condições ambientais das edificações com menor consumo de energia.

Com o advento dos computadores pessoais, a análise termoenergética das edificações ficou facilitada. Diversos programas computacionais foram desenvolvidos com esse objetivo, possibilitando avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação, tanto na fase de projeto ou após a sua construção. É possível propor diversas soluções arquitetônicas e analisá-las, com economia de tempo e de recurso, determinando a solução tecnicamente mais adequada, a qual irá proporcionar um melhor desempenho da edificação. Dentre esses programas está incluído o programa *EnergyPlus*, que é o programa indicado pela normalização brasileira para esse tipo de análise.

De acordo com o exposto, este trabalho visa empregar o Programa de Simulação *EnergyPlus* para análise de soluções arquitetônicas propostas para melhoria do desempenho termoenergético de duas salas do prédio do Centro de Tecnologia da UFSM.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar propostas de estratégias passivas de climatização para as salas de aula do Centro de Tecnologia da UFSM.

1.2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento térmico e do consumo de energia para climatização do prédio do Centro de Tecnologia da UFSM..

- Propor estratégias passivas para as salas de aula no dia típico de inverno e de verão, na situação mais crítica, para o prédio do Centro de Tecnologia, proporcionando melhor desempenho termo energético.
- Verificar se alterações propostas atendem aos valores da norma de desempenho térmico NBR 15575 (2013).
- Verificar a eficiência energética do prédio após as estratégias passivas.

1.3. JUSTIFICATIVA

A eficiência energética deve ser empregada, cada vez mais como instrumento de conservação de energia, pois é de grande importância para o país, o meio ambiente e para toda a sociedade (MARQUES et al., 2007).

No Brasil, o relatório da EPE informa que o consumo de energia no setor público representa 8,0% do consumo total de energia elétrica em edificações no Brasil, o que representa 38,17 TWh. Dados indicam que 23% é empregado em iluminação, 48% em ar condicionado, 15% em equipamentos de escritório e 14% com outras cargas (LAMBERTS et al., 2014).

Em lançamento de edital em novembro de 2016, a ANEEL relata que o gasto com energia elétrica representa um dos valores mais elevados no custeio das Instituições Públicas de Ensino Superior e que ações devem ser tomadas visando esta redução, como a implantação de sistemas de geração própria. O mesmo edital, ainda cita dados da Secretaria do Ensino Superior:

De acordo com a Secretaria de Ensino Superior (SESu) do Ministério da Educação, o valor total pago, em 2015, apenas pelas Universidades Federais, foi de cerca de R\$ 430 milhões. Segundo a SESu, as despesas com energia elétrica dessas instituições despontam como o 3º maior grupo e representam cerca de 9% dos gastos apurados em 2015. Constata-se, também, que parte considerável desse gasto se refere ao uso de equipamentos ineficientes e altos índices de desperdício de energia. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016, p.1).

Portanto, faz-se necessário projetar e executar, bem como propor alterações para os edifícios públicos visando maior eficiência energética, sendo, portanto, necessário o uso mais racional de energia para iluminação, aquecimento de água e condicionamento de ar e para o conforto térmico de seus usuários, devendo seus projetistas estar preparados para encontrar soluções mais adequadas e que gerem menor desperdício.

Assim, embasado no que foi exposto anteriormente, este trabalho fará um estudo sobre o prédio do Centro de Tecnologia da UFSM, propondo soluções arquitetônicas para duas salas de aula buscando um melhor desempenho termo energético. Para isso, o trabalho será desenvolvido em etapas descritas a seguir.

1.4. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

Estruturalmente, este trabalho foi dividido em cinco capítulos, onde o primeiro é destinado à apresentação e delimitação da pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa do trabalho e a descrição dos capítulos.

O capítulo dois pretende realizar uma revisão bibliográfica, para a fundamentação teórica do trabalho, abordando a questão da sustentabilidade e as certificações da construção civil, a eficiência energética e Selo PROCEL, desempenho térmico, a norma NBR 15220 e 15575 e o software *EnergyPlus*.

O capítulo três aborda o método de pesquisa desenvolvido no trabalho e todas as práticas utilizadas para melhor expor este estudo de caso.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos na caracterização do edifício em análise e as propostas de soluções empregadas. A última parte desta dissertação é destinada a conclusão deste estudo, com sugestões de trabalhos futuros a serem realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será abordada a fundamentação teórica para a elaboração desta dissertação, iniciando-se uma revisão sobre a sustentabilidade e as construções sustentáveis e suas certificações, a eficiência energética e o selo PROCEL, desempenho térmico, as normas brasileiras NBR 15220 e NBR 15575 e o programa de simulação *EnergyPlus*.

2.1. SUSTENTABILIDADE NAS CONSTRUÇÕES E AS CERTIFICAÇÕES

Apesar da demanda ambiental ter surgido desde a antiguidade, a questão da sustentabilidade emergiu mais fortemente quando a Organização das Nações Unidas criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento e indicou a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, para chefiar a comissão. No ano de 1987 é publicado o Relatório Nosso Futuro Comum, denominado de Relatório Brundtland, no qual é definido o desenvolvimento sustentável, como sendo: “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, definição que se mantém até os dias de hoje (BRUNDTLAND, 1987, p. 54).

Veiga (2005) cita que o relatório Brundtland foi um documento político que procurava alianças e que visava viabilizar a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu no Rio de Janeiro, a “Rio-92”. O autor também informa que a expressão Desenvolvimento Sustentável foi consagrada nesta conferência.

A Rio-92, ou Eco-92, reafirmou as decisões da conferência das Nações Unidas que foram adotadas em Estocolmo, mas avançando em vários tópicos, surgindo daí como um dos principais resultados a Agenda 21. Corrêa (2009) destaca que a Agenda 21 é uma agenda para o Desenvolvimento Sustentável, colocando o meio ambiente em destaque.

A partir da Agenda 21, no ano de 1996 em Istambul ocorreu a Segunda Conferência Mundial para Assentamentos Humanos e a agenda Habitat II foi assinada. O documento indicava o modo de ter-se o desenvolvimento de áreas urbanas, garantindo moradia adequada para todos e uma cidade mais sustentável, num mundo fortemente urbanizado (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012).

Em 1999 o CIB (*Conseil International du Bâtiment*) lançou a Agenda 21 para a Construção Sustentável, no qual descreveu conceitos, medidas e aspectos para que a indústria da construção seja mais sustentável, através da forma como as edificações são projetadas, executadas e mantidas ao longo do tempo. A agenda detalha o impacto ambiental da indústria da construção, desde o projeto do edifício até sua demolição, entretanto, as propostas eram

principalmente para os países desenvolvidos (JOHN *et al.*, 2001, CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2012).

Em seu artigo, John *et al.*, (2001) descreve que a Conferência *Sustainable Building 2000*, realizada na Holanda, foi marcada pela integração com os países em desenvolvimento, devido a uma pressão ambiental mais enfática. Os autores descrevem:

Um dos principais resultados da plenária de encerramento desta conferência foi conclamar um acompanhamento pró-ativo do *International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)* no sentido de estimular iniciativas e intervenções para a construção sustentável nos países em desenvolvimento. Cerca de um mês depois, no *CIB Symposium on Construction and the Environment*, realizado em São Paulo, o *CIB Programme Committee* anunciou oficialmente o apoio ao desenvolvimento de uma Agenda 21 para a construção sustentável nos países em desenvolvimento, cujos trabalhos já estão em desenvolvimento. (JOHN *et al.*, 2001, p. 3)

O documento tinha objetivos que podem ser resumidos como identificar os desafios-chaves e os maiores problemas, orientar os investimentos de pesquisa e desenvolvimento e discutir sobre construção sustentável nos países em desenvolvimento (JOHN *et al.* 2001).

Na Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, a definição de construção sustentável é apresentada como “um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes, natural e construído, e a criação de assentamento que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica” (CIB AGENDA 21 PARA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2000, p. 8). O Ministério do Meio Ambiente (s.d.) informa que o conceito amplia a questão da sustentabilidade ambiental, incluindo a sustentabilidade econômica e social, reforçando a qualidade de vida dos indivíduos e comunidades (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, s.d.).

Nascimento (2009), citando Fossati e Lamberts (2008) descreve que é sob a ótica da redução do impacto do homem sobre o meio ambiente que se encontram as edificações sustentáveis, definidas como construções que são projetadas para um uso racional de materiais, água e energia, proporcionando ao longo da vida útil reduzir ao mínimo os custos ambientais, sem detrimento do conforto humano.

Oliveira (2014) descreve os sete princípios para uma construção sustentável que foram estabelecidos pelo CIB, a saber: redução do consumo de recursos e sua reutilização, reciclagem dos recursos, proteção da natureza, com eliminação de tóxicos, foco na qualidade e, com relação ao viés econômico, a aplicação do ciclo de vida no custo do empreendimento. Este último princípio que levou ao desenvolvimento das metodologias para a avaliação ambiental dos edifícios.

O conceito de *Green Buildings* ou Edifícios Verdes surgiu a partir da década de 90, sendo empregado para denominar as edificações construídas com princípios sustentáveis.

Antunes (2010) citando Bauer et al. (2009) descreve edifícios verdes como

...edifícios ambientalmente responsáveis e que preservam a eficiência da utilização dos recursos durante todo o ciclo de vida, isto é, incluindo as fases de projecto, construção, operação, manutenção, reabilitação e demolição. Esta visão de edifício complementa as considerações/preocupações clássicas de economia, utilidade, durabilidade e conforto. Os edifícios verdes também são conhecidos por serem edifícios de alta performance. (ANTUNES, 2010, p. 50).

Leite (2011) descreve que os edifícios verdes objetivam atender a cinco grandes temas (Figura 1): local sustentável, conservação dos materiais e dos recursos, e qualidade ambiental interna e eficiência de água e energia.

Figura 1 – Qualidade de um edifício verde



Fonte: Leite, 2011, p.10

Para implementar o nível de desempenho ambiental de construções novas e antigas foi desenvolvido sistemas de avaliação e de certificação da sustentabilidade das edificações em vários países europeus e também nos Estados Unidos, Canada, Austrália, Japão e Hong Kong (SILVA, 2007, OLIVEIRA, 2014).

Propostas de sistemas de certificações surgiram a partir do final da década de 80, em vários países. Em 1990, no Reino Unido foi lançado o BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Esta foi a primeira e mais eficiente tentativa de estabelecer critérios para avaliar o desempenho ambiental de edificações. A partir daí surgiram em vários países certificações, tais como LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*), lançado nos Estados Unidos em 1999. Em 2002, foi lançado na França e no Japão, respectivamente, o HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*) e o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) e

dois anos depois, a Austrália finaliza seu sistema o *NABERS (National Australian Buildings Environmental Rating System)* (MOTTA E AGUILAR, 2009, ANTUNES, 2010, LEITE 2011, OLIVEIRA, 2014).

Oliveira (2014) apresenta os principais sistemas de avaliação ambiental de edificações e tece alguns comentários sobre as mesmas (Quadro 1).

Quadro 1 - Sistemas para Certificações de Edificações Sustentáveis

País	Sistema	Comentários
Reino Unido	BREEAM	Sistema com base em critérios e <i>benchmarks</i> para várias tipologias de edifícios. Um terço dos itens avaliados é parte de um bloco opcional de avaliação de gestão e operação de edifícios em uso. Os critérios são ponderados para gerar um índice de desempenho ambiental do edifício. O sistema é atualizado regularmente (a cada 3-5 anos)
International iiSBE	GCB (<i>Green Building Challenge</i>) GBTool	Sistema com base em criteriosos e <i>benchmarks</i> hierárquicos. Ponderação ajustável ao contexto de avaliação.
Hong Kong	HK-BEAM	Adaptação do BREEAM 93 para Hong Kong em versões para edifícios de escritórios novos ou em uso e residenciais. Não pondera.
Estados Unidos	LEED	Inspiração no BREEM. Sistema com base em critérios e <i>benchmarks</i> . O sistema é atualizado regularmente (a cada 3-5 anos) e versões para outras tipologias estão em estágio piloto. Na versão para edifícios existentes, a linguagem ou as normas de referências foram modificadas para refletir a etapa de operação do edifício.
França	NF Bâtiments Tertiaires Démarche HQE	Sistema com base em critérios e <i>benchmarks</i> . Sua ponderação é baseada no perfil de desempenho específico definido para cada projeto. Inclui avaliação da gestão do desenvolvimento do empreendimento. O resultado é um perfil de desempenho global, detalhado pelas 14 preocupações ambientais definidas pela Associação HQE.
Canadá	BEPAC	Inspirado no BREEAM e dedicado a edifícios comerciais novos ou existentes. O sistema é orientado a incentivos, e distingue critérios de projeto e de gestão separados para o edifício-base e para as formas de ocupação que ele abriga.
Japão	CASBEE	Sistema com base em critérios e <i>benchmarks</i> . Composto por várias ferramentas para diferentes estágios do ciclo de vida. Inspirada na GBTool, a ferramenta de projeto trabalha com um índice de eficiência ambiental do edifício (BEE), e aplica ponderação fixa e em todos os níveis.

Oliveira (2014) citando Agopyan (2000) descreve que no Brasil, as primeiras iniciativas para avaliar as construções sustentáveis, com enfoque em reciclagem, redução de perdas e de energia, ocorreram na década de 90 e que em 2007 foi constituído o Conselho Brasileiro para Edificações Sustentáveis (CBCS). No mesmo ano é fundado o *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil), que emprega a certificação LEED para avaliação das construções brasileira e sendo uma certificação regionalizada. Em 2007, ainda é lançado o selo ecológico IDHEA-Falcão Bauer. O sistema AQUA, embasado na certificação francesa HQE, surge no ano de 2008 (MOTTA E AGUILAR, 2009).

Cortese et al. (2017) citam e avaliam as principais certificações existentes no Brasil, conforme Quadro 2:

Quadro 2 – Principais certificações de construção sustentável no Brasil

Nome do Processo	Abrangência	Conhecimento do Mercado
Leed	Internacional	Alto
Breem	Internacional	Baixo
Aqua – HQE	Brasil	Alto
Selo Casa Azul	Programa Minha Casa Minha Vida	Baixo
PBE Edifica (Procel)	Brasil	Alto
Selo Qualiverde	Rio de Janeiro	Baixo
Referência Casa	Brasil	Baixo
Selo BH Sustentável	Belo Horizonte	Baixo

Fonte: Cortese et al. (2017, p. 119)

Das certificações internacionais existentes no Brasil, o BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* foi desenvolvido no Reino Unido pelo BRE – *Building Research Establishment Ltd.* em conjunto com o setor privado e a indústria. A avaliação do sistema é feita com base na atribuição de créditos ao edifício, com determinados requisitos atendidos, que são organizados em categorias. Essas categorias têm pesos específicos, de acordo com a tipologia da edificação: as *EcoHomes*, que são as habitações, edifícios de escritórios, os *Offices*, unidades industriais, os Industrial BREEAM, edifícios comerciais, BREEAM *Retail* e um outro sistema para Escolas, Hospitais e Prisões. A abordagem geral inclui a avaliação inicial, dimensionamento, inventário e compra de materiais, gestão e operação e o controle de qualidade (PINHEIRO, 2006).

Antunes (2010) ainda cita que a avaliação considera diferentes escalas, a nível global, local e no interior do edifício, estando embasada na atribuição e ponderação de vários critérios, que estão agrupados em áreas de gestão, de saúde e bem-estar, energia, transporte, água, materiais, resíduos, poluição e ecologia e emprego do solo, sendo definidas duas fases de avaliação na sua metodologia.

O sistema LEED, dos Estados Unidos, foi desenvolvido pelo *US Green Building Council* e objetiva promover edificações que são ambientalmente responsáveis e lucrativas, com lugares saudáveis para viver e trabalhar. O sistema tem por base um programa voluntário que avalia o desempenho ambiental de um edifício durante todo o ciclo de vida do mesmo (PINHEIRO, 2006).

A certificação LEED considera o ciclo de vida da construção, podendo ser aplicada a qualquer tipo de empreendimento no território brasileiro (CORTESE et al., 2017), sendo representadas por seis áreas: locais sustentáveis, uso eficiente de recursos hídricos, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ar interior e inovação e processos de projeto (PINHEIRO, 2006).

No sistema de pontuações do LEED, que definem o nível a ser alcançado, há 4 categorias de selos (Figura 2):

- Certificado, quando o empreendimento atinge de 40 a 49 pontos;
- Prata, quando atinge de 50 a 59 pontos;
- Ouro, quando tem-se de 60 a 79 pontos;
- Platina, quando houver atingido de 80 a 110 pontos.

Figura 2 – Diferentes tipos de Selos LEED



A diferença entre as duas certificações citadas é que para a certificação LEED deve haver uma pré-seleção de projetos, pois só são admitidos no processo de avaliação projetos que cumpram um *checklist* de dez pré-requisitos, como eficiência energética, qualidade do ar interior, conforto térmico, qualidade da água, entre outros (ANTUNES, 2010).

Stefanuto e Henkes (2013) descrevem as etapas de obtenção do selo LEED, iniciando pelo registro do projeto na Plataforma LEED *online*, sendo inseridos os dados gerais do projeto. Após, a equipe de projeto composta por arquitetos, engenheiros, técnico de comissionamento, o empreendedor e o LEED AP, que é o profissional acreditado pela LEED, coletarão informações com relação ao projeto para preparação da certificação, preparando memoriais, relatórios, plantas, registro fotográfico, preenchimento de formulários e planilhas, enviando toda a documentação do USGBC, que analisará a certificação.

O sistema LEED certifica as seguintes categorias a seguir listadas: **LEED-NC**, para nova construção, **LEED-EB** para prédios existentes, **LEED-CI** para o interior de prédios comerciais, **LEED-CS** para parte externa e parte central de edifícios de uso coletivo. **LEED-ND** para bairros e desenvolvimento de comunidades, **LEED-Schools**, certificação para escolas, **LEED-Homes** para residências unifamiliares e multifamiliares até 3 pavimentos, **LEED Retail NC & CI** para lojas de varejo e **LEED Healthcare** para unidades de saúde (STEFANUTO E HENKES, 2013).

Os mesmos autores ainda indicam que para o LEED de novas construções, as pontuações são 26 pontos para espaço sustentável, 10 pontos para uso racional da água, 35 pontos para atmosfera e energia, 14 pontos para materiais e recursos, 15 pontos para qualidade ambiental interna, 6 pontos para inovação e processo do projeto e 4 pontos possíveis de serem obtidos com créditos regionais (STEFANUTO E HENKES, 2013).

O selo **AQUA-HQE** - Alta Qualidade Ambiental na Construção Civil é uma adaptação para o Brasil do *HQE - Haute Qualité Environnementale* da França, sendo o primeiro selo brasileiro, desenvolvido pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini em conjunto com a Escola Politécnica da USP e o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) da França (UCHOA et al., 2014). O processo avalia o desempenho de construções sustentáveis baseado na realidade brasileira.

No sistema AQUA-HQE são avaliadas três fases do empreendimento: o Programa, a Concepção e a Realização. Na primeira etapa são avaliados os documentos da elaboração do programa de necessidades, no qual o cliente informa ao projetista o que necessita em sua edificação. A partir deste programa é realizado o projeto arquitetônico. Na segunda etapa, com base nas informações do programa de necessidades, é realizada a concepção

arquitetônica da edificação e é feita a escolha da técnica construtiva a ser empregada. Na terceira etapa, é efetivamente realizada a execução da obra, tendo como resultado a construção do empreendimento solicitado pelo cliente (CASAGRANDE JR. e AGUDELO, 2012).

No Processo AQUA-HQE, os instrumentos de certificação são o SGE e QAE. O SGE (Sistema de Gestão do Empreendimento) avalia o sistema de gestão ambiental, o QAE (Qualidade Ambiental do Edifício), avalia o desempenho arquitetônico e técnico, baseado em 14 categorias, divididas em 4 grupos: Eco-construção, Conforto, Eco-gestão e Saúde (Quadro 3).

Quadro 3 – Categorias do Processo AQUA

Controle dos impactos sobre o ambiente externo		Criação de um ambiente interno confortável e saudável	
Sítio e construção		Conforto	
Categoria 01	Relação do edifício com o seu entorno	Categoria 08	Conforto higrotérmico
Categoria 02	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos	Categoria 09	Conforto acústico
Categoria 03	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental	Categoria 10	Conforto visual
Gestão		Categoria 11	Conforto olfativo
Categoria 04	Gestão de Energia	Saúde	
Categoria 05	Gestão de água	Categoria 12	Qualidade sanitária dos ambientes
Categoria 06	Gestão de resíduos de uso e operação do edifício	Categoria 13	Qualidade sanitária do ar
Categoria 07	Manutenção – permanência do desempenho ambiental	Categoria 14	Qualidade sanitária da água

Fonte: Leite, 2011, p. 31

Uchoa et al. (2014) descreve que os selos LEED e BREEM estão apoiados no somatório de pontos obtidos e o selo AQUA-HQE qualifica os itens descritos na tabela anterior, indicando um dos três níveis para o empreendimento: Bom, quando houver um desempenho mínimo aceitável para o empreendimento de Alta Qualidade Ambiental, Superior no caso de haver boas práticas de sustentabilidade e Excelente quando houver o máximo desempenho.

Godoy (2016) faz um comparativo entre a certificação LEED e AQUA-HQE, que permite verificar que a segunda certificação avalia 14 categorias como a relação do edifício com o entorno, canteiro de obras com baixo impacto ambiental, gestão de energia e de água, conforto acústico, entre outros. A Certificação LEED avalia 7 categorias como a implantação

do empreendimento, eficiência do uso de água e energia e inovação. Na pontuação, a certificação AQUA-HQE avalia 3 categorias, enquanto a Certificação LEED avalia 69 critérios.

Outra certificação existente é o Selo Casa Azul, proposto em 2010 pela Caixa Econômica Federal, é a primeira certificação brasileira para projetos da construção habitacional brasileira financiados pela instituição, objetivando incentivar empreendimentos que proporcionem a redução dos impactos ambientais, sendo considerados 53 critérios, que estão divididos em 6 categorias que são: a qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da qualidade da água e práticas sociais (DINAMARCO, 2016).

A mesma autora ainda informa a classificação do selo (Figura 3), podendo ser bronze, prata ou ouro. Para receber o Selo Bronze, o empreendimento deve apresentar os 19 critérios obrigatórios. No Selo Prata, o empreendimento deve apresentar os 19 critérios obrigatórios e outros 6 opcionais e, finalmente para o Selo Ouro, o empreendimento deve apresentar os 19 critérios obrigatórios e pelo menos mais 12 critérios opcionais.

Figura 3 – Certificação Selo Casa Azul, níveis Ouro, Prata e Bronze



Fonte: Dinamarco, 2016

Os 19 critérios obrigatórios são: Qualidade do Entorno – Infraestrutura; Qualidade do Entorno – Impactos; Paisagismo; Local para Coleta Seletiva; Equipamentos de Lazer, Sociais e Esportivos; Desempenho Térmico – Vedações; Desempenho Térmico – Orientação Solar e Ventos; Lâmpadas de baixo consumo – Áreas Privadas; Dispositivos Economizadores – Áreas Comuns; Medição Individualizada – Gás; Qualidade de Materiais e Componentes; Formas e Escoras Reutilizáveis; Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD); Medição Individualizada – Água; Dispositivos Economizadores – Sistema de Descarga; Áreas Permeáveis; Educação para Gestão do RCD; Educação Ambiental dos Empregados; Orientação dos Moradores (JOHN e PRADO, 2010).

As edificações que recebem essa certificação podem empregar a sua logomarca em material de publicidade das vendas e também colocar na obra uma placa metálica com o Selo obtido.

De todas as certificações analisadas, observa-se que a questão energética, com pontuação para menor consumo de energia elétrica, perpassa todas as certificações empregadas no Brasil, portanto, faz-se necessário um maior conhecimento das mesmas e estudos e propostas que reduzam o consumo de energia durante toda a vida útil da edificação.

Especificamente, com relação à questão energética, vários programas foram criados visando uma maior eficiência, surgindo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Selo Procel) e em 2003 foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA. Além disso, são propostas novas normas, NBR 15220 e NBR 15575, que serão descritos no próximo tópico.

2.2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O SELO PROCEL

Com a crise de petróleo ocorrida na década de 70 e a crescente preocupação com a escassez dos recursos naturais houve maior atenção a iniciativas para promover a eficiência energética.

Gallardo et al. (2017, p. 66) afirma que:

O desafio atual no setor de energia reside em manter os níveis de fornecimento de energia para permitir o contínuo desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo que não se ameacem as condições do planeta, o que remete a equilibrar aspectos ambientais e sociais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, apesar da maior parte da energia disponível ter origem nas hidrelétricas, quando ocorrem problemas como menor regime de chuvas, as usinas termelétricas são acionadas, encarecendo o custo da energia ao consumidor e provocando poluição, devido à emissão de gases de efeito estufa, prejudicando o meio ambiente. Portanto, é uma prioridade conscientizar a sociedade em reduzir o consumo de energia e buscar alternativas mais ambientalmente amigáveis, com maior eficiência energética.

Outro ponto relevante é com relação ao desperdício de energia, reportagem na Folha de São Paulo no ano de 2015 informa que 10% de toda a energia elétrica consumida no Brasil durante o ano de 2014 foi desperdiçada, num valor estimado de 12,64 bilhões de reais (Figura 4), o que demonstra a necessidade de uma maior conscientização com relação ao desperdício

e demonstrando também a necessidade de uma maior ênfase para a questão de eficiência energética.

Sola et al. (2006) descreve que o conceito de eficiência energética está vinculado a redução de perdas quando da transformação de energia primária em energia útil, sendo que estas perdas ocorrem tanto na energia térmica, mecânica ou elétrica, necessitando cada vez mais ser utilizada como instrumento de conservação de energia, pois é de grande importância para o país, o meio ambiente e para toda a sociedade (MARQUES et al., 2007).

Figura 4 – Desperdício de energia no ano de 2014.



Fonte: Cunha, 2015.

No Brasil uma maior ênfase a essa questão foi dada quando do lançamento do Programa de Eficiência Energética (PEE), criado no ano de 1998, quando foi fixada a obrigação nos contratos de concessão entre as concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica e a Agência Nacional de Energia Elétrica (DAMASCENO, 2013).

No Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf, 2016, p. 21) descreve que:

EE refere-se a ações de diversas naturezas que culminam na redução de energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em processos. Objetiva, em síntese, atender as necessidades da economia com menor uso de energia primária e, portanto, menor impacto da natureza.

Após a criação do PEE, no ano 2000 foi assinada pelo presidente Fernando Henrique Cardoso a Lei nº. 9.991 que dispõe “sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias,

permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências.” (Lei Nº. 9.991, 2000, p.1), nela ficou fixado a aplicação de, no mínimo, 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias e permissionárias em ações para combater o desperdício de energia elétrica e no ano de 2001 é aprovada a Lei Nº. 10.295 conhecida como Lei da Eficiência Energética que estabelece os “níveis máximos de consumo específicos de energia, ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país”. (Lei Nº. 10.295, 2001, p. 1).

Com relação a questão de eficiência energética, já na década de 90 surge a certificação Selo Procel de Economia de Energia, ou Selo Procel, que foi proposta pelo governo federal, através do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Essa certificação tinha por objetivo promover o uso eficiente de energia elétrica e foi criado pelo Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993 (PROCEL INFO, 2006a).

Em 2003, dez anos após a criação do Selo Procel, foi estabelecido o Programa de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA (Figura 5), que buscava a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais, tais como água, luz, ventilação, nas construções e buscava reduzir os desperdícios e os impactos ao meio ambiente (PROCEL INFO, 2006b).

Figura 5 – Selo Procel Edifica



Fonte: Procel Info, 2006b

No regulamento está descrito seu objetivo: “O Selo Procel Edificações tem por objetivo principal identificar as edificações que apresentem os melhores níveis da eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar produtos mais eficientes” (ELETROBRAS, 2015, p. 3)

O Regulamento ainda afirma que o selo é “um importante instrumento para o combate ao desperdício de energia elétrica, estimulando os projetistas e construtores à constante evolução do desempenho energético das suas edificações” (ELETROBRAS, 2015, p. 3).

Lamberts et al. (1997) afirma que com relação as edificações:

[...] a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. (LAMBERTS et al, 1997, p. 14)

O Selo Procel Edificações emprega a metodologia dos Regulamentos Técnicos de Qualidade, sendo esse aplicado em diferentes casos. O primeiro, proposto em 2009, é o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais de Serviço e Públicas, o RTQ-C. No ano de 2011, surge a metodologia a ser empregada em edificações residenciais, o RTQ-R, Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais. A certificação identifica os edifícios com melhores classificações de eficiência energética em uma determinada categoria (PAULSE, 2016).

No processo é avaliado a envoltória, iluminação e condicionamento de ar para o edifício completo, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas. A Figura 6 apresenta a Etiqueta Nacional de Conservação e Energia (ENCE) que pode ser obtida.

Figura 6 – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia



]

Fonte: RTQ-C, 2013, p. 8

Desde 2014, tornou-se obrigatória a etiquetagem de edificações públicas federais novas e com *retrofits*, quando a área for superior à 500 m², sendo necessário a obtenção da etiqueta nível A para projeto e construção (CBCS, 2014).

Além das certificações propostas abordadas anteriormente, para a avaliação da eficiência energética, no ano de 2005 foi proposta a norma NBR 15220 e em 2008 foi sancionada a norma NBR 15575 e que, no ano de 2013, foi proposta a sua quarta edição.

Essas normas também abarcam o desempenho térmico das edificações, e que serão discutidas no item a seguir.

2.3 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

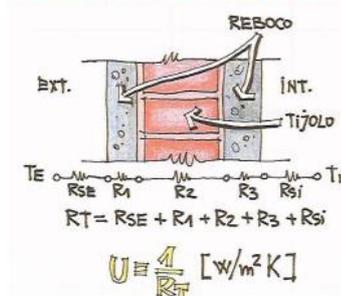
A norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005) é uma norma prescritiva de desempenho térmico das edificações, constando de cinco partes. Na primeira parte da norma traz os termos relacionados com o desempenho térmico, incluindo suas definições, símbolos e unidades. Na segunda parte constam os procedimentos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes. Na parte 3, são apresentadas o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Nas partes 4 e 5 há orientação para a medição da resistência térmica e da condutividade térmica, pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluximétrico, respectivamente.

Dos conceitos apresentados, a transmitância térmica (U), que é o coeficiente global de transferência de calor, determina o fluxo de calor que é transmitido por unidade de área, quando há uma diferença unitária de temperatura e é calculada pelo inverso da resistência térmica total, que é obtida pelo somatório da resistência térmica das diferentes camadas existentes e da resistência superficial interna e externa, conforme Figura 7:

O cálculo é realizado para cada seção das camadas do material, considerando seções com diferentes resistências térmicas.

Figura 7 – Determinação do Coeficiente Global de Transferência de Calor (U)

Resistência térmica total (R_t)
Coeficiente global de transferência de calor (U)



Frota e Schiffer (2007, p. 38) afirmam que “o coeficiente global de transmissão térmica quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes, que o elemento constituído por tal material separa”. O coeficiente abarca as trocas térmicas superficiais por convecção e radiação e as trocas térmicas no próprio material por condução. Logo, a resistência térmica (RT) é a propriedade dos materiais de resistir à passagem de calor e a transmitância (U) é a propriedade que indica a facilidade da passagem do calor através do material.

O segundo coeficiente descrito pela norma é o da Capacidade Térmica (CT), que é definida como a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema” (ABNT, 2005b, p. 2).

Lamberts et al. (2014) descreve que essa propriedade térmica do material indica a sua maior ou menor capacidade de retenção de calor.

O outro índice que está definido na norma é o atraso térmico (ϕ), dado em horas, que é definido como “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (ABNT, 2005b, p. 2), ou seja, representa o tempo transcorrido em horas para que ocorra a variação térmica na parede oposta.

O Fator Solar de elementos opacos ou Fator de ganho de calor solar de elementos opacos (FS_o) é definido como sendo “o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo” (ABNT, 2005, p. 3).

Frota e Schiffer (2007, p. 42) indicam que o fator solar é diretamente proporcional a transmitância térmica e ao coeficiente de absorção da radiação solar e inversamente proporcional ao coeficiente de condutância térmica superficial externa.

A norma NBR 15220 (2005c) apresenta as equações para o cálculo dessas variáveis, anteriormente descritas.

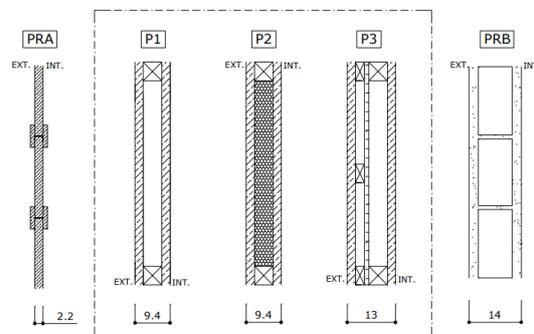
Vários trabalhos foram realizados avaliando a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e o Fator Solar.

Jorge (2011) em sua dissertação descreve que o principal objetivo de estudar o comportamento térmico das edificações é para determinar o conforto térmico aos ocupantes, buscando a eficiência energética. O autor enfatiza que o coeficiente de transmitância informa o quanto o elemento ou conjunto de elementos transmite energia sob a forma de calor. Além disso, o trabalho também descreve as diferentes técnicas e métodos para medir a transmitância.

Martins (2012) realizou trabalho em que avaliou o desempenho térmico e análise de conforto de habitações de interesse social de um bairro da cidade de Passo Fundo (RS). A análise foi realizada comparando as normas NBR 15220 e 15575 e o *software* Transmitância. Os resultados demonstraram que a transmitância foi de $2,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ e que a Capacidade Térmica era de $160 \text{ Kj/ m}^2\cdot\text{k}$, ambos valores inferiores aos sugeridos pela norma NBR 15575, apresentando, portanto, um desempenho térmico adequado.

Giglio (2005) desenvolveu pesquisa para avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira, em um protótipo habitacional de interesse social. A autora empregou 5 tipos de painéis, conforme pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Composição de painéis e paredes avaliados



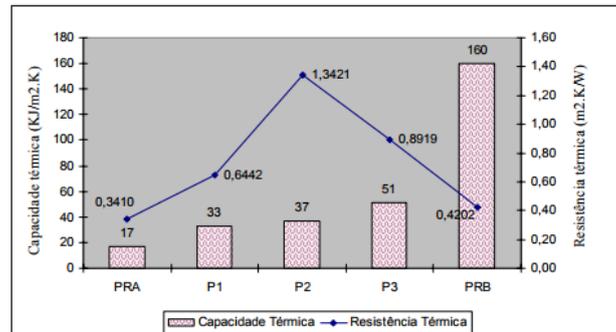
Fonte: Giglio, 2005, p. 67

Os painéis avaliados no trabalho foram:

- P1 - painel de tábua de pinus 2,2 cm + câmara de ar não ventilada de 5 cm + tábua de pinus de 2,2 cm;
- P2 - painel de tábua de pinus de 2,2 cm + lã de vidro de 5 cm + tábua de pinus de 2,2 cm;
- P3 – painel de tábua de pinus de 2,2 cm + câmara de ar não ventilada de 2,4 cm e sarrafos de 2,4x5cm + chapa de partículas de madeira orientada (denominada no trabalho de chapa OSB) + câmara de ar não ventilada de 5 cm + tábua de pinus de 2,2 cm
- PRA – parede referencial A composta de tábua de pinus de 2,2 cm de espessura e 22 cm de largura, com mata junta de madeira de pinus de 1,2 cm de espessura e 6 cm de largura.
- PRB – parede referencial B, em alvenaria de tijolo cerâmico de seis furos de 9 cm, rebocados dos dois lados.

O trabalho demonstrou, conforme Figura 9, que as propriedades de Resistência Térmica e dos painéis P1, P2 e P3 são superiores aos painéis PRA e PRB e sua capacidade térmica são superiores ao painel PRA, mas inferior ao painel PRB.

Figura 9 – Valores de Resistência Térmica e Capacidade Térmica dos diversos painéis

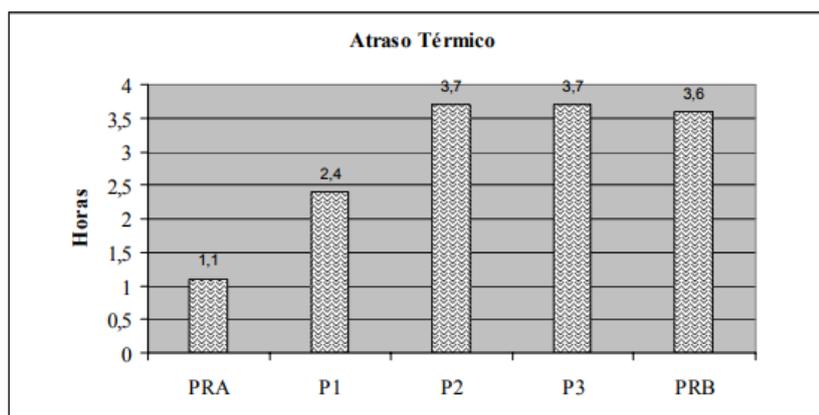


Fonte: Giglio, 2005, p. 96

Giglio (2005) também determinou o fator solar para os 5 painéis empregados. Os painéis PRA e PRB apresentavam o Fator Solar de 3,5% e 2,9% respectivamente. Os Fatores Solares dos painéis P1, P2 e P3, são respectivamente 1,9%, 0,9% e 1,3%, sendo que o painel P2, composto por tábua de pinus de 2,2 cm + lâ de vidro de 5 cm + tábua de pinus de 2,2 cm, apresentou o menor Fator Solar.

O mesmo autor, ainda determinou o atraso térmico (Figura 10) nos painéis descritos anteriormente. Os resultados apresentados demonstraram que os painéis P2 e P3 apresentavam melhor desempenho do que o painel em alvenaria de tijolo cerâmico de seis furos de 9 cm, rebocados dos dois lados.

Figura 10 – Atraso térmico em horas para os painéis analisados



Fonte: Giglio, 2005, p. 85

No trabalho realizado por Martins (2012) sobre habitações de uso social, em que foi analisada uma residência unifamiliar composta por dois dormitórios, uma sala, uma cozinha e um banheiro com área de 41,55 m², com estrutura em concreto armado, vedações externas de tijolo de seis furos rebocados em ambos os lados, pintura externa na cor branca e cobertura com telhado de chapas de fibrocimento. Foram avaliados os parâmetros fornecidos pela norma NBR 15220 e o atraso térmico determinado para as vedações foi de 3,4 h, sendo inferior ao valor limite estabelecido por norma para a Zona 2, que era de 4,3 h. Com relação a cobertura, o atraso térmico determinado foi de 2h, inferior ao limite estabelecido por norma que era de 3,3 h.

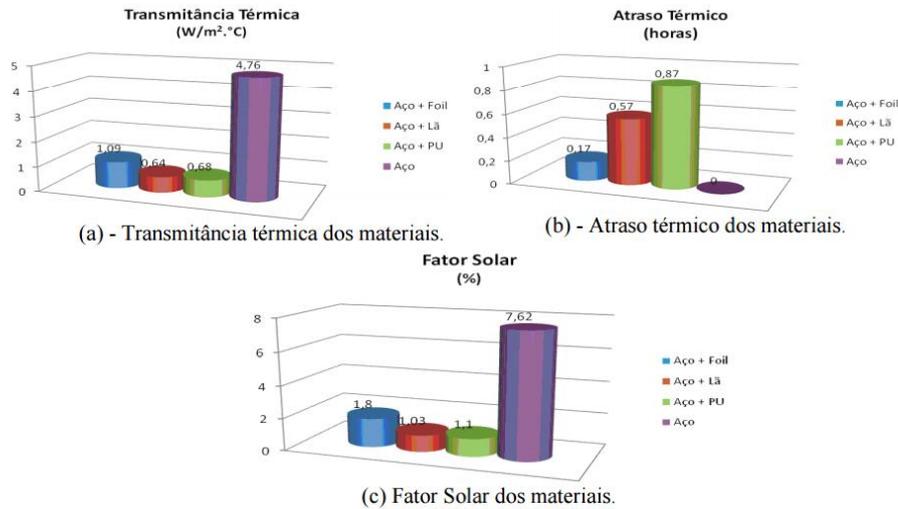
Knop e Cunha (2012) realizaram estudo comparativo, através de simulação, das paredes do Casarão número 2, atual Secretaria Municipal da Cultura de Pelotas. As configurações das paredes empregadas variavam de 15, 22, 35, 36, 42, 50, 63, 68, 72, 78, 82 e 87 cm, comparativamente a parede leve proposta. Os resultados demonstraram que as paredes portantes apresentavam transmitância e fator solar inferiores aos recomendados pelas normas, entretanto os valores de atraso térmico estavam acima dos valores normalizados, tornando os fechamentos inapropriados.

Trabalho realizado por Silva et al. (2009) avaliou várias propriedades de mistura solo-cimento e resíduo agrícola (casca de arroz e capim braquiária) em diferentes proporções, sendo T1 a mistura com 0% Resíduo e 100% Cimento e T2, a mistura com 10% Casca de Arroz e 90% Cimento as que atingiram a resistência à compressão da norma NBR 8492 (ABNT, 1984). Foram também realizados ensaios térmicos em paredes construídas com a mistura T1 e T2. Os valores de transmitância térmica para as misturas anteriores, respectivamente, eram de 2,0 e de 1,88 W/(m².K) e 7,5 h e 9h de atraso térmico e fator solar de 5,2% e 4,88%, estando todos os valores em conformidade com a NBR 15220-3.

Vieira et al. (2010) realizaram estudo sobre o desempenho térmico de cobertura de telhas de aço autoportantes com emprego de isolantes térmicos em galpões comerciais e industriais na cidade de Cuiabá. No trabalho foram empregados lã de rocha, poliuretano jateado e manta reflexiva. Houve avaliação da transmitância térmica, atraso térmico e fator solar da cobertura, com e sem os diferentes tipos de isolamento.

Conforme se verifica na Figura 11, os resultados demonstraram que a menor transmitância e menor fator solar, com maior atraso térmico ocorreram no poliuretano, sendo este o melhor material a ser empregado para isolamento da cobertura.

Figura 11 – Resultados da Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator Solar



Fonte: Vieira *et al.*, 2010, p. 461

Santos et al. (2015), desenvolveram trabalho cujo objetivo era realizar uma avaliação comparando o comportamento térmico de edificações em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e blocos de concreto, na cidade de São Leopoldo, localizada na Zona Bioclimática 2. Os autores empregam a norma NBR 15220-2 e descrevem as recomendações para a Zona Bioclimática 2, indicados no Quadro 4:

Quadro 4 – Recomendações da Zona Bioclimática 2 na NBR 15220-2

Zona Bioclimática 2		
Aberturas	Aberturas para ventilação médias	15% < A < 25% A (em % da área do piso)
		Sombreamento
Paredes externas leves	Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	≤ 3,0
	Atraso térmico φ (h)	≤ 4,3
	Fator solar - FS _o (%)	≤ 5,0
Cobertura leve e isolada	Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	≤ 2,0
	Atraso térmico - φ (h)	≤ 3,3
	Fator solar - FS _o (%)	≤ 6,5
Estratégias de condicionamento térmico passivo	Verão	Ventilação cruzada
	Inverno	Aquecimento solar
	*O condicionamento passivo é insuficiente neste período	Vedações internas pesadas

Fonte: Santos *et al.*, 2015, p. 1034

Os resultados do trabalho indicavam que a transmitância era de 2,88 e 2,09 W/m².K, para bloco de concreto e bloco cerâmico, respectivamente, demonstrando que ambos os valores eram inferiores aos indicados pela norma, conforme Quadro 4. Os valores de atraso

térmico e fator solar foram de 4,19h e 2,88%, respectivamente para o bloco de concreto e de 4,54h e de 2,09% para o bloco cerâmico, estando todos os valores de acordo com os solicitados pela norma. Além disso, o resultado demonstrou a pouca influência do tipo de bloco empregado tanto no período de verão como de inverno e que as maiores temperaturas e o menor amortecimento térmico ocorreram nas paredes cegas voltadas para o norte, durante o período de inverno e no verão, para as paredes cegas voltadas para sul.

Conforme se verifica no quadro 4, as recomendações descritas também serão empregadas no presente trabalho, como estratégia passiva para climatização das salas do Centro de Tecnologia.

Na parte 3 da NBR 15220 também são apresentadas o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005). A norma ainda prescreve as estratégias bioclimáticas e recomendações construtivas que estão resumidas no Quadro 5, onde encontram-se indicados as estratégias bioclimáticas para a Zona Bioclimática 2, onde encontra-se a cidade de Santa Maria.

Quadro 5 – Quadro resumo das estratégias bioclimáticas das Zonas Bioclimáticas 2

Zona	Estratégia		Aberturas para Ventilação	Sombreamento das aberturas	Parede			Cobertura		
	Verão	Inverno			U	ϕ	FSo	U	ϕ	FSo
2	Ventilação cruzada	Aquecimento solar da edificação/vedações internas pesadas (inércia térmica)	Médias $15% < A < 25%$	Permitir sol apenas durante o inverno	$\leq 3,0$ (Parede leve)	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$

Fonte: Norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

Alguns trabalhos propostos já contestaram a NBR 15220. Pode-se citar o trabalho realizado por Matos (2007) que avaliou, através da simulação computacional, o desempenho térmico de uma residência unifamiliar para a zona bioclimática 3, seguindo as recomendações na norma NBR 15220 (2005). Segundo a autora, os resultados demonstraram que a limitação do atraso térmico proposto pela norma não se justificaria, pois em todas as paredes com a transmitância dentro dos limites da norma a quantidade de graus-hora foram semelhantes.

Freitas et al. (2016), citando a dissertação de Oliveira (2014), avaliam os valores que são recomendados para a norma NBR 15220 (2005) para edificações de habitação social e

conclui que, para a zona bioclimática 2, as recomendações da norma de valor de atraso térmico de 4,3 horas não possibilitam os melhores índices de conforto térmico na edificação.

Outra norma brasileira que enfoca a questão térmica é a NBR 15575 (ABNT, 2013), com o título “Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho” e está dividida em seis partes, fornecendo limites obrigatórios para edificações habitacionais de até 5 pavimentos, sugerindo medições e simulações. A norma é dividida em seis partes, sendo que a questão energética é abordada nas partes 4 e 5 da norma.

O estudo desta norma é devido, principalmente a preocupação com o conforto térmico do usuário e a busca da eficiência energética da edificação (CALAZANS, 2016).

Oliveira (2014) citando Borges e Sabbatini (2008) indica que a norma foi embasada nos requisitos das normas ISO 6240, de 1980 e ISO 6241, de 1984 e também embasadas nas necessidades dos usuários que pudessem ser medidas, com viabilidade técnica e econômica de acordo com cada sociedade, região ou país.

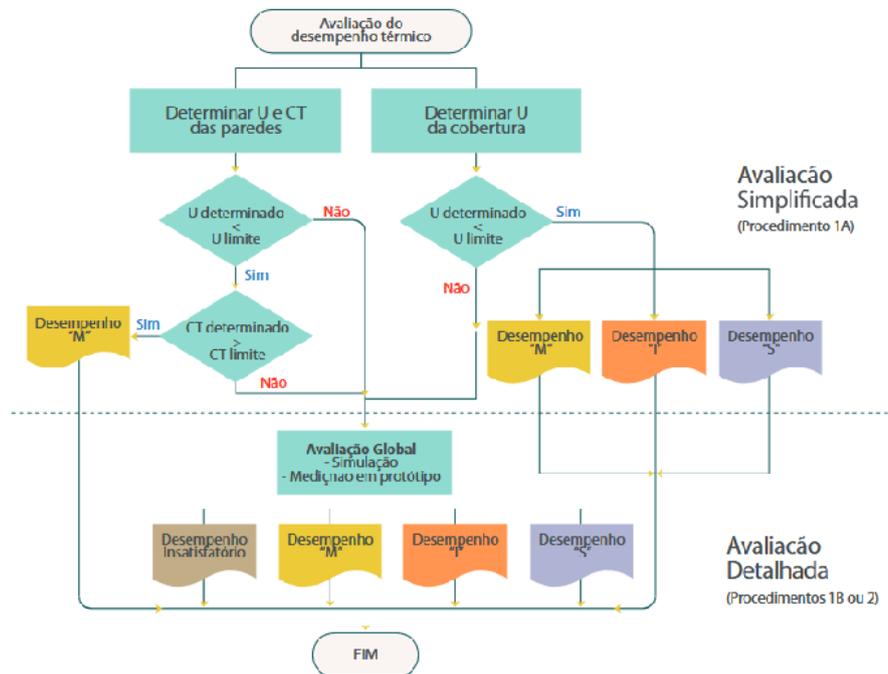
A referida norma, na parte 1: Requisitos gerais, o item 11 refere-se ao desempenho térmico que as edificações devam atender, de acordo com a zona bioclimática em que ela se encontra. A norma estabelece procedimento normativo e outro procedimento informativo para que as edificações sejam avaliadas. Os procedimentos estão assim descritos:

a) **Procedimento 1** – Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional conforme o item 11.2.

b) **Procedimento 2** – Medição (informativo, Anexo A): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos. Este método é de caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item anterior (a), conforme disposto na diretiva 2:2011 da ABNT. (ABNT, 2013, p. 19)

De acordo com o que foi descrito, a norma indica três procedimentos para a avaliação térmica, o método simplificado, a simulação e a medição. A publicação da Câmara Brasileira Indústria da Construção (CBIC) apresenta o fluxograma (Figura 12) com as etapas para verificação do desempenho térmico para paredes e coberturas.

Figura 12 – Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: Câmara Brasileira Indústria da Construção, 2013, p. 139

Oliveira (2014) descreve que a avaliação do desempenho térmico de paredes, fachadas e cobertura devem atender a norma NBR 15220 (2005), na qual estão definidos os valores de transmitância e capacidade térmica das paredes e cobertura. Esses valores são dependentes do material, que é definido no projeto. Quando os valores não são atendidos no referido critério, o método de avaliação a ser empregado é o de simulação computacional, conforme o Procedimento 1 descrito acima.

Para o procedimento de simulação computacional é necessário empregar os dias típicos de projeto de verão e de inverno, de acordo com a localização da cidade. No caso de não haver dados referentes aos dias típicos, é empregado os dados de uma cidade próxima da mesma Zona Bioclimática. No caso de não ser possível obter os mesmos, então a norma sugere não empregar a simulação computacional. A norma também sugere utilizar preferencialmente o programa *EnergyPlus*, ou outro em que seja possível estudar o comportamento térmico da edificação em condições térmicas dinâmicas (ABNT, 2013).

No programa computacional, a edificação deve ser considerada como um todo, sendo cada ambiente avaliado como uma zona térmica. Nos dados solicitados deve-se empregar as propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos obtidos em laboratório ou aqueles que estão na NBR 15220-Parte 2 (ABNT, 2013c).

As exigências de desempenho para o verão, são fornecidas pela norma em sua parte 1, em seu Anexo E e encontram-se na Quadro 6:

Quadro 6 – Desempenho Térmico para Condições de Verão

Nível de Desempenho	Critério referido na Norma NBR 15575	
	Zona 1 a 7	Zona 8
Mínimo	Temperatura Interna máxima \leq Temperatura Externa máxima	Temperatura Interna máxima \leq Temperatura Externa máxima
Intermediário	Temperatura Interna máxima \leq (Temperatura Externa máxima - 2°C)	Temperatura Interna máxima \leq (Temperatura Externa máxima - 1°C)
Superior	Temperatura Interna máxima \leq (Temperatura Externa máxima - 4°C)	Temperatura Interna máxima \leq (Temperatura Externa máxima - 2°C) Temperatura Interna mínima \leq (Temperatura Externa mínima + 1°C)

Fonte: ABNT, 2013

As exigências de desempenho para o inverno são fornecidas pela norma e encontram-se no Quadro 7:

Quadro 7 – Desempenho Térmico para Condições de Inverno

Nível de Desempenho	Critério referido na Norma NBR 15575	
	Zona 1 a 5	Zona 6 a 8
Mínimo	Temperatura Interna mínima \geq (Temperatura Externa mínima + 3°C)	Não precisa ser verificado
Intermediário	Temperatura Interna mínima \geq (Temperatura Externa mínima + 5°C)	Não precisa ser verificado
Superior	Temperatura Interna mínima \geq (Temperatura Externa mínima + 7°C)	Não precisa ser verificado

Fonte: ABNT, 2013

Freitas *et al.* (2016) relata que a NBR 15575 (2013) lançada posteriormente a norma de desempenho térmico de 2005, emprega a capacidade térmica e não o atraso térmico como variável limitadora, sendo o mesmo critério empregado no Regulamento Técnico da

Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) de 2009.

A publicação da Câmara Brasileira Indústria da Construção (2013), citando a norma de desempenho, informa que o cômodo na extremidade da edificação e com orientação geográfica mais crítica, do ponto de vista térmico, deve ser avaliado. Para a condição do verão, a janela do cômodo deverá estar voltada para Oeste e a parede exposta para Norte, caso não seja possível, o ambiente deve ter, no mínimo, uma janela voltada para Oeste. Para a condição de inverno, a janela do cômodo deverá estar voltada para Sul e a outra parede exposta voltada para Leste e caso não seja possível, o ambiente pelo menos deverá apresentar uma janela voltada para sul. Considerando ainda a condição de simulação, a taxa padrão de ventilação será de 1 Ren/h.

No próximo tópico será abordado a simulação e o programa *EnergyPlus*, programa computacional que será empregado neste trabalho.

2.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E O PROGRAMA *ENERGYPLUS*

Gavira (2003, p. 57) em seu trabalho descreve:

A simulação é um método empregado para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, da maneira mais fiel possível as características do sistema original. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como diversos fatores afetarão o desempenho do sistema.

A simulação térmica de edificações é um modelo computacional que demonstra todos os processos de trocas térmicas da edificação e que tem por objetivo determinar o cálculo da carga térmica, da análise energética e análise do nível de conforto térmico. A carga térmica é empregada para dimensionar os equipamentos, como ventiladores e ar condicionado. A análise energética verifica o custo do consumo da energia da edificação e a análise do conforto térmico, avalia o grau de conforto do ambiente interno.

Com a simulação computacional é possível avaliar o desempenho térmico e energético das edificações, tanto na fase de projeto, quanto na edificação já construída e com isso propor soluções do desenho arquitetônico, dos materiais, componentes construtivos, iluminação, ventilação e ar condicionado. É possível avaliar as soluções propostas, estimando o seu consumo de energia, o conforto ambiental, o impacto ambiental e todo o custo das soluções e suas aplicações.

Para realizar estas simulações são empregados *softwares* que proporcionam a criação de modelos dos processos energéticos da edificação, existindo diversos softwares que

possibilitam a análise do desempenho térmico, tais como o programa DOE, BLAST, ESP, TAS, *DesignBuilder*, *Blast*, DOE-2, *Ecotect*, *Arqtrop* e o programa *EnergyPlus* (NASCIMENTO, 2009, CUNHA, 2010).

Crawley et al. (2001) descreveram o programa *EnergyPlus* como um novo programa de simulação para determinar o desempenho de edifícios, combinando as melhores potencialidades e aspectos dos programas BLAST e DOE-2, escrito em Fortran 90 e sendo suas ferramenta de simulação de energia e de carga térmica.

Rodrigues (2015) também cita que para análise termo energética há vários *softwares*, tais como o TRANSYS, DOE-2, Trace-600, HAP, BLAST, ESP, SERIRES, TASE e o *EnergyPlus*, sendo este um dos programas mais úteis e que é aprovado pela ASHRAE Standard 140 (2004).

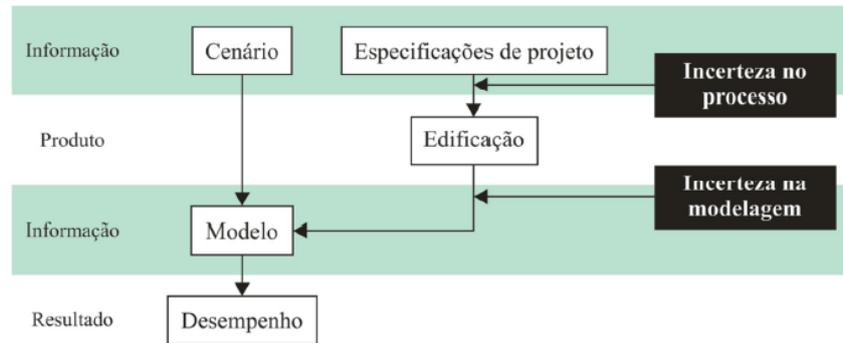
O mesmo autor ainda relata que esse programa foi desenvolvido pelo DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos, sendo um programa de simulação dinâmica, que permite modelagem de energia, como aquecimento, refrigeração, iluminação e ventilação, bem como de água.

Veloso (2012, p. 34) descreve que “O software é capaz de simular de forma integrada os componentes construtivos da edificação, sistemas de condicionamento de ar, equipamentos, padrões de uso e ocupação, entre outros, estimando o consumo de energia e considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior”.

Buoro et al. (2006) descreve que o programa é empregado para simulação do aquecimento, resfriamento, iluminação, ventilação e outros fluxos de energia, incluindo também intervalo de tempos menores do que uma hora e simulação do ar condicionado em várias zonas térmicas embasadas em fluxo de ar e permitindo incluir sistemas fotovoltaicos.

Gomes (2012) descreve que programas de simulação para análise de desempenho térmico e energético são pouco empregados em escritórios de projeto, e que fatores como a dificuldade dessas ferramentas, falta de programas nacionais e a dificuldade da programação do modelo virtual são as razões para o não emprego dos mesmos. O autor ainda cita que incertezas são devido à falta de informação devido ao projeto estar incompleto e pelas edificações que não são construídas exatamente conforme a especificação do projeto. A Figura 13 apresenta o fluxograma da simulação.

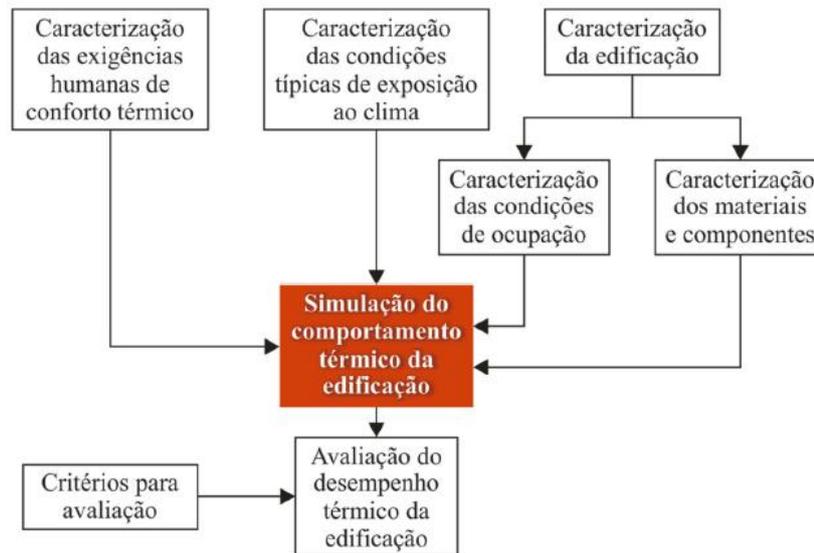
Figura 13 – Fluxograma do processo de simulação de desempenho de uma edificação.



Fonte: Gomes, 2012, p. 30.

Gomes (2012), citando trabalho de Akutsu (1998) apresenta as etapas do processo de simulação do desempenho térmico das edificações, que está apresentado na Figura 14. O autor indica que o conforto térmico está relacionado à temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura radiante do ambiente, além da taxa metabólica e da vestimenta térmica dos ocupantes.

Figura 14 – Etapas do processo de simulação do desempenho térmico das edificações.



Fonte: Gomes, 2012, p. 31

Para uma simulação mais rápida, o autor ainda informa que no Brasil os dados climáticos mais empregados são o ano climático de referência – (TRY- *Test Reference Year*) e os dias típicos de projeto de inverno e de verão.

Com relação à edificação, são necessárias as características termofísicas dos componentes e materiais, configuração da planta, orientação solar e o entorno, variáveis de uso e ocupação e abertura de janelas e portas (GOMES, 2012).

A Figura 15 apresenta as etapas de modelagem no programa *EnergyPlus*. Na primeira etapa é definido o modelo de transferência de calor e umidade que será empregado pelo programa, o intervalo de tempo de cada simulação e se será empregado condicionamento natural ou artificial. São definidos os dados gerais da edificação, como orientação e o tipo de terreno.

Figura 15 - Etapas de modelagem no programa *EnergyPlus*



Na segunda etapa são consideradas a temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, pressão barométrica, radiação solar, temperatura do solo, índice de limpidez do céu e indicadores de chuva. Além disso, é preciso especificar materiais empregados e composição dos fechamentos externos e internos.

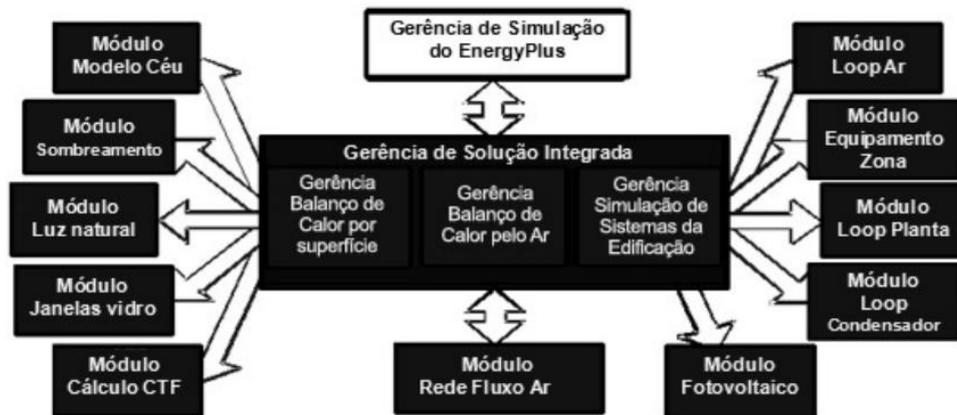
Na fase seguinte são definidas as zonas térmicas da edificação. O projeto pode ser simplificado unindo zonas térmicas adjacentes. É importante também definir as rotinas de uso e ocupação. A próxima etapa é a caracterização das cargas que são as pessoas, a iluminação e os equipamentos empregados em cada zona térmica, além de definir a ventilação natural ou os sistemas de ar condicionado e, finalmente os relatórios de saída (GOMES, 2012).

Couto (2013, p. 38) descreve os procedimentos do programa divididos em seis etapas:

- Modelagem tridimensional da Edificação;
- Definição das rotinas de ocupação;
- Identificação dos sistemas construtivos (materiais de paredes, pisos, telhados, forros, etc.)
- Caracterização das aberturas: portas, janelas, brises, vãos.
- Sistema de Iluminação;
- Sistema de condicionamento de ar, aquecimento, exaustão e ventilação.

A Figura 16 apresenta o gerenciamento do balanço de calor do programa *EnergyPlus* o qual apresenta os módulos de transferência de calor, fluxo de ar entre as zonas térmicas, o cálculo de energia solar térmica, incluindo também simulação com sistemas fotovoltaicos. Observa-se que estão representados os módulos, sendo o primeiro de balanço térmico que integra o sombreamento, iluminação natural, janelas e vidros, modelos de céu e o cálculo das funções de transferência de calor por condução no sistema. O segundo módulo apresentado simula a ventilação natural e o ar condicionado da edificação ou projeto. O terceiro módulo emprega o programa COMIS, permitindo a modelagem do fluxo de ar e das multizonas (CRAWLEY et al, 2001, VELOSO, 2012).

Figura 16 – Módulos de simulação integrada do *EnergyPlus*



Fonte: Veloso, 2012, p. 35.

Wallauer (2003) empregou o programa *EnergyPlus* para simulação do conforto térmico em edificação térrea simples, uma casa popular padrão em quatro capitais brasileiras (Belém, Brasília, Recife e São Paulo). O conforto térmico dos ocupantes foi simulado e analisado. Após a análise foram propostas modificações na estrutura da edificação visando a melhoria para os seus ocupantes. Em relação ao conforto térmico, o trabalho verificou que durante a noite havia uma sensação de frio para os moradores, sensação que poderia ser modificada, alterando apenas a vestimenta. Para o problema de desconforto em relação ao calor, as alterações seriam realizadas na edificação com alteração dos materiais de construção, cor do telhado, espessura das paredes, alteração na geometria da casa, como o aumento na área de janela.

Trabalho realizado por Buoro et al. (2006) empregou o programa *EnergyPlus* e TAS, realizando uma comparação entre eles, utilizando a metodologia de validação desenvolvida pelo IPT. O protótipo estudado era uma edificação com um compartimento, com janela e porta, com laje e um átrio e cobertura em telha cerâmica. Para as análises foram selecionados a fachada com menor incidência solar e o telhado, com a maior incidência. Os resultados, dos dois programas, demonstraram a boa concordância entre os valores medidos e simulados. Também foi verificado que o modelo empregado pelo *EnergyPlus* estava mais adequado a condição avaliada.

Dantas e Barbirato (2015) avaliaram o desempenho térmico e o conforto interno de edificações do Programa Minha Casa Minha Vida, do governo federal, na cidade de Maceió, Alagoas. Foram realizadas 4 simulações, conforme o Quadro 8.

Quadro 8 – Modelagem Básica para simulação

SIMULAÇÃO 01	Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; Ventilação: parcial.
SIMULAÇÃO 02	Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; Ventilação: parcial.
SIMULAÇÃO 03	Parede: composta com tijolos de seis furos quadrados, com espessura total de 14cm e pintura na cor branca; Cobertura: composta por forro de concreto, com espessura de 3cm, pintada na cor branca e telha colonial cerâmica; Ventilação: total.
SIMULAÇÃO 04	Parede: Parede de concreto maciço, com espessura total de 10cm e pintura na cor marrom escuro; Cobertura: Cobertura composta de telha colonial cerâmica, sem forro; Ventilação: total.

Fonte: Dantas e Barbirato (2015, p. 8)

Foram analisados o quarto do casal e o quarto dos filhos e os intervalos de conforto térmico adotados estavam entre o intervalo de 24,5°C e 29,5°C, com temperatura de neutralidade de 26°C. Os resultados demonstraram que, para o quarto do casal, os melhores resultados foram obtidos na simulação 3, com 81,15% dos resultados na zona de conforto, Para o quarto dos filhos, a simulação 1 é que apresentou os melhores resultados com 84% das horas de temperatura interna dentro do limite de conforto (DANTAS E BARBIRATO, 2015).

Dissertação desenvolvida por Carotenuto (2009) tinha por objetivo avaliar o desempenho termoenergético de um prédio histórico, o Instituto de Química da UFRGS, como parte do projeto de recuperação do patrimônio dessa universidade. A simulação foi realizada com o programa *EnergyPlus*. Na conclusão do trabalho são apresentados o consumo e custos da energia elétrica do prédio, sendo que os equipamentos são os que mais consomem energia elétrica, seguido da iluminação e do sistema de ar condicionado.

Rodrigues (2015) em seu trabalho avaliou a eficiência energética de uma edificação residencial para o Exército Brasileiro, em fase de projeto, empregando o método prescritivo e de simulação computacional, sendo que o programa utilizado foi o *EnergyPlus*. Os resultados permitiram a melhoria do projeto e da eficiência termoenergética da residência projetada, possibilitando o aperfeiçoamento durante a fase de projeto.

Queiroz (2016) desenvolveu trabalho sobre a análise da interoperabilidade entre os programas computacionais *Autodesk Revit* e *EnergyPlus*, para simulação térmica de edificações. Os resultados demonstraram que há a possibilidade de transferência de informações para simulações térmicas de edificações, podendo haver distorções na geometria e falta de dados para a correta execução da simulação.

Garlet (2017), empregando o programa *EnergyPlus* propôs avaliar estratégias bioclimáticas para a redução de gastos energéticos e melhoria de conforto em pavilhões industriais na Zona Bioclimática 2. Das soluções testadas, as mais viáveis foram a substituição das lâmpadas por de menor consumo, adequação do *setpoint* dos aparelhos condicionadores de ar, emprego de baixa absorvância solar nos fechamentos e uso de proteções solares, com redução do consumo de energia de 48,36%.

Outro trabalho empregando o programa *EnergyPlus*, foi desenvolvido por Tabarelli (2017), no qual foi avaliado o desempenho térmico dos sistemas de coberturas de edificações multifamiliares na Zona Bioclimática 2. Os resultados demonstraram que a absorvância solar influenciou na temperatura dos ambientes, mais do que a transmitância térmica. Com relação a cobertura, o melhor desempenho durante o verão foram com materiais que possuíam absorvância solares mais baixas empregada em conjunto com altas renovações de ar.

No Brasil, essa ferramenta de trabalho ainda é pouco empregada entre os profissionais, que não visualizam a simplicidade, praticidade e rapidez da simulação para avaliação termoenergética de qualquer projeto ou de edificação construída, submetida a reforma ou retrofit, ficando a simulação restrita basicamente a instituições de ensino e pesquisa (COUTO, 2013).

Assim, verifica-se que com o emprego da simulação é possível, com economia de tempo e de recursos, verificar o desempenho das edificações, bem como das propostas para sua melhoria, proporcionando maior economia, eficiência energética e conforto aos seus usuários. Assim, a partir do emprego de simulação computacional com o Programa *EnergyPlus*, este trabalho irá avaliar as propostas passivas de climatização de duas salas do Centro de Tecnologia da UFSM, visando maior eficiência energética.

Portanto, para o desenvolvimento do trabalho, no próximo capítulo será descrito os materiais e métodos que foram utilizados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrita a metodologia empregada para o desenvolvimento da dissertação.

O método científico são os procedimentos sistematizados para descrever e explicar um estudo realizado. Sua escolha está embasada na natureza do objeto a qual será aplicado e o objetivo a ser atingido, podendo-se optar por diversas abordagens.

Neste trabalho, para atingir os objetivos propostos foi realizada uma pesquisa de natureza aplicada, a fim de fornecer conhecimento para uso prático. Para Barros e Lehfeld (2000) este tipo de conhecimento contribui para fins práticos, permitindo a solução mais ou menos imediata do problema real.

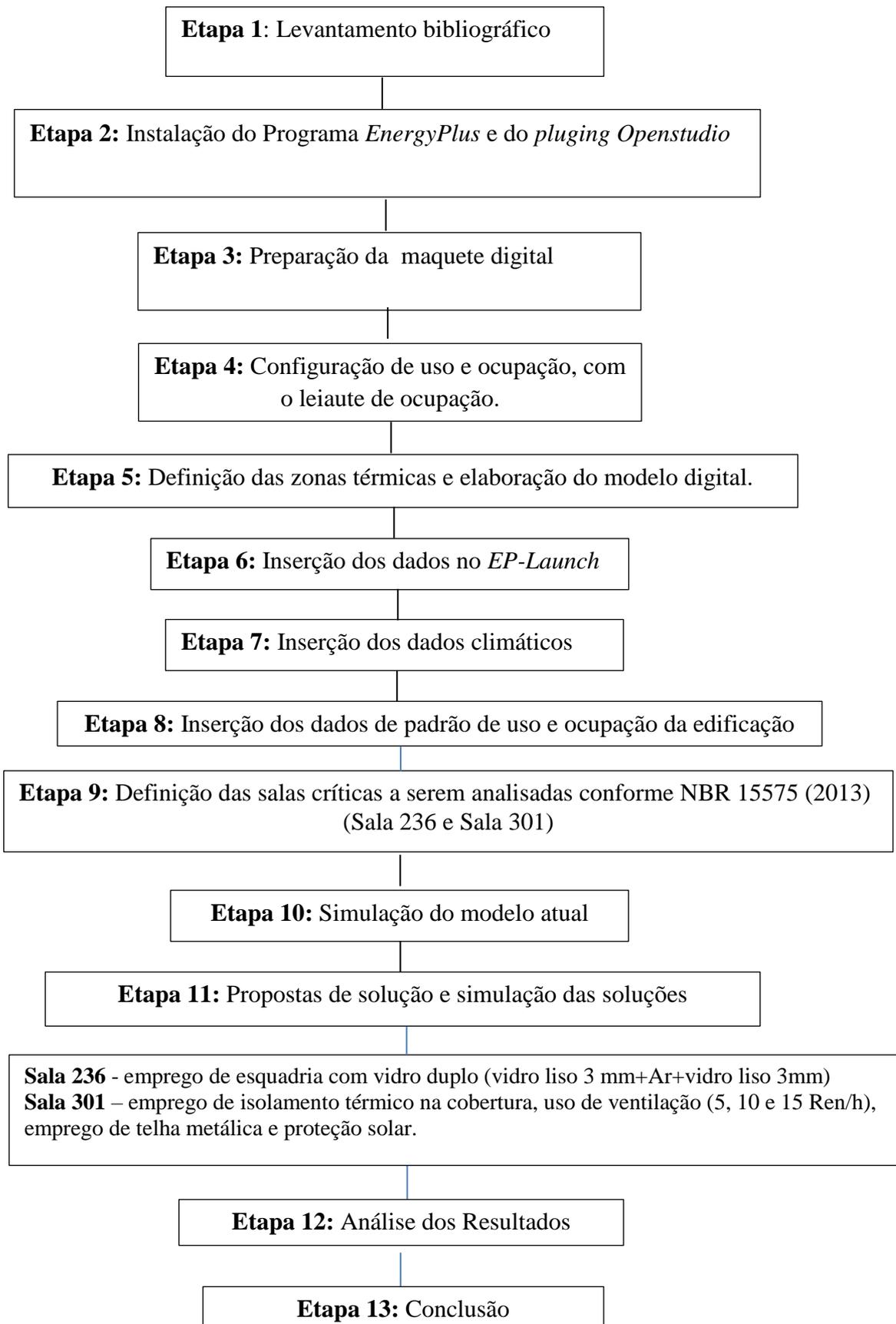
Com relação à abordagem do problema, a pesquisa realizada é quantitativa e, segundo Baptista e Campos (2016, p. 56) os dados empíricos são analisados quantitativamente após sua coleta e tratamento, proporcionando deste modo a ampliação do conhecimento.

Freitas e Jabbour (2011) indicam que abordagem da pesquisa quantitativa apresenta hipóteses específicas e variáveis definidas, que são medidas de forma objetiva, com quantificação precisa dos resultados, evitando distorções na sua análise e interpretação.

Os mesmos autores ainda indicam que, como este estudo aborda um caso específico ele é chamado de estudo de caso, sendo que sua finalidade “é reunir informações detalhadas e sistemáticas sobre um fenômeno” (FREITAS E JABBOUR, 2011, p. 10).

Uma vez definido o método a ser empregado na pesquisa, para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi desenvolvido em diferentes etapas que serão apresentadas no organograma da Figura 17 e descritas a seguir.

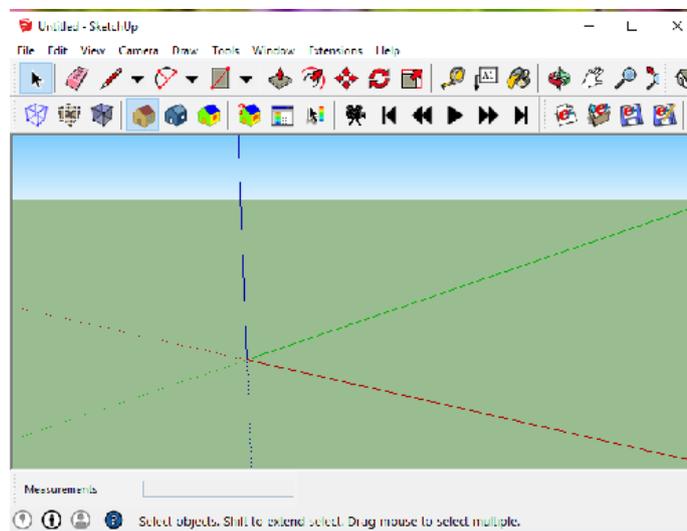
Figura 17 – Organograma com as etapas desenvolvidas na pesquisa



Etapa 1: Levantamento bibliográfico em livros, artigos, dissertações e teses sobre a questão da sustentabilidade e as certificações propostas para avaliação das edificações. Apresentou-se uma análise da questão da eficiência energética. Também foram apresentadas as normas NBR 15220 e 15575 e o programa de simulação *EnergyPlus*.

Etapa 2: Para realização da simulação da edificação, objeto de estudo, foi instalado o Programa *EnergyPlus* com o *plugging* do *OpenStudio*, versão 8.3, conforme pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 – Programa SketchUp 2015



Fonte: Elaborado pela Autora, 2018

Etapa 3: Para a preparação da maquete digital, buscou-se a configuração arquitetônica através das plantas, cortes e fachadas, orientação solar, características dos materiais, esquadrias, pintura, acabamento e cobertura, bem como os detalhes construtivos e as proteções solares da edificação.

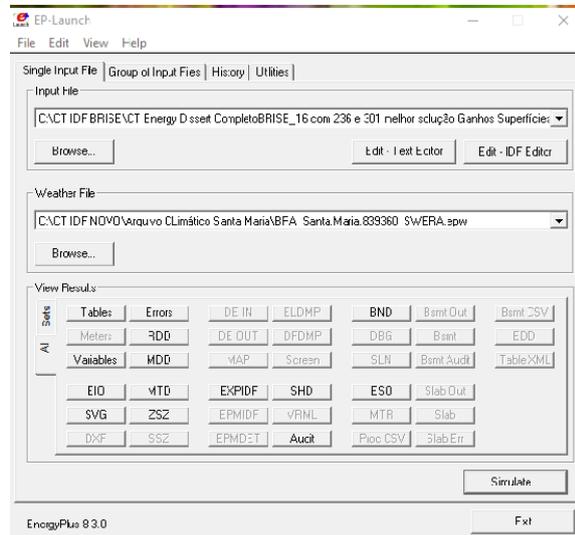
Etapa 4: Nesta etapa procedeu-se a configuração de uso e ocupação, com o *layout* de ocupação, o esquema elétrico, com as luminárias presentes, a densidade ocupacional, os equipamentos elétricos e a configuração do uso dos mesmos.

Com todos os dados referentes à edificação em estudo, iniciou-se a inserção dos dados no programa para realizar-se a simulação.

Etapa 5: Definiu-se todas as zonas térmicas para a montagem do modelo digital

Etapa 6: Após o término do modelo computacional, iniciou-se a próxima etapa no programa *EnergyPlus*, inserindo os dados no *EP-Launch* (Figura 19)

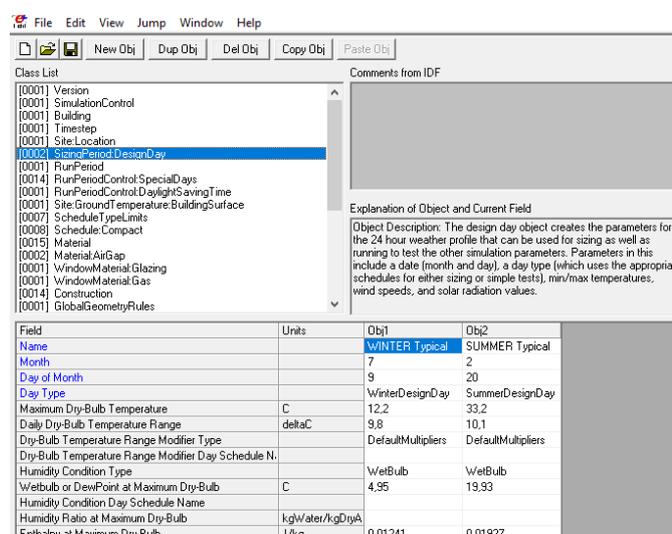
Figura 19 – EP-Launch



Fonte: Elaborado pela Autora, 2018.

Etapa 7: Inserção, no *IDF-Editor*, dos dados climáticos, com a inserção do arquivo com o Ano Climático de Referência da Cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, com dias típicos de projeto de verão e de inverno, conforme Figura 20.

Figura 20 – *IDF-Editor* com Dia Típico de Inverno e de Verão



Fonte: Elaborado pela Autora, 2018

Etapa 8: Foram inseridos os dados de padrão de uso e ocupação da edificação, com horários de ocupação das salas, uso dos equipamentos internos e densidade de carga interna.

Etapa 9: Embasados na norma NBR 15575 (2013), que define a unidade habitacional da edificação mais crítica do ponto de vista térmico para verão e para inverno, definiu-se para a realização do estudo as salas 236 e 301 do Centro de Tecnologia.

Etapa 10: Procedeu-se a simulação do modelo atual e verificaram-se os resultados.

Os resultados foram apresentados em planilhas Excel 10 e a partir daí foram construídos os gráficos das salas estudadas, com temperatura de bulbo seco, temperatura operativa, dia típico de inverno e de verão, consumo de energia e fluxo térmico.

Etapa 11: Avaliação das Propostas de solução através de simulações.

Como o objetivo do trabalho era avaliar soluções passivas para melhoria da eficiência energética e da temperatura operativa das salas avaliadas, foram inseridas as propostas de solução, que constam no Quadro 12 e Quadro 13, a seguir:

Quadro 9 – Simulações realizadas na Sala 236

SIMULAÇÕES DA SALA 236 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O INVERNO
1. Avaliação do consumo de energia na sala 236 condicionada artificialmente, na situação atual, com e sem infiltração;
2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 236 ventilada naturalmente na situação atual
3. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 236 com a alteração para esquadria de vidro duplo 3.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575
4. Avaliação final do Consumo Energético para Aquecimento, após modificações na Sala 236

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Quadro 10 – Simulações realizadas na Sala 301

SIMULAÇÕES DA SALA 301 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O VERÃO
1 Simulação para a sala 301 na situação atual, condicionada artificialmente:
2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 301. Sem ar condicionado e sem e com infiltração de 1 Ren/h.
3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 301 com ventilação interna 5, 10 e 15 renovações de ar por hora e emprego de isolamento térmico na cobertura
4 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica
5 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e avaliação de desempenho na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica e proteção solar na fachada Oeste
5.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 com emprego de proteção solar na sala 301
6. Avaliação final do Consumo Energético para Resfriamento, após modificações na Sala 301

Fonte: Elaborado pela autora

Etapa 11: Avaliação dos resultados obtidos na simulação.

Etapa 12: Conclusão.

3.1 DESCRIÇÃO E CONFIGURAÇÕES DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO

3.1.1 Caracterização do Município e da área em estudo

Para melhor desenvolver o trabalho, inicialmente será abordado brevemente o município de Santa Maria, sua localização e clima, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e o Centro de Tecnologia da UFSM.

A cidade de Santa Maria está localizada no estado do Rio Grande do Sul, à 290 km da capital do estado, cujas coordenadas geográficas são 53°35'08" de longitude oeste e 29°33'34" de latitude Sul, com altitude média de 113 metros acima do nível do mar, com uma população de 278.445 habitantes (IBGE, 2010).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002) apud Klusener (2009), classifica o clima de Santa Maria na faixa temperado mesotérmico brando, super úmido e sem seca, com temperaturas médias entre 10° e 15°C (Figura 21).

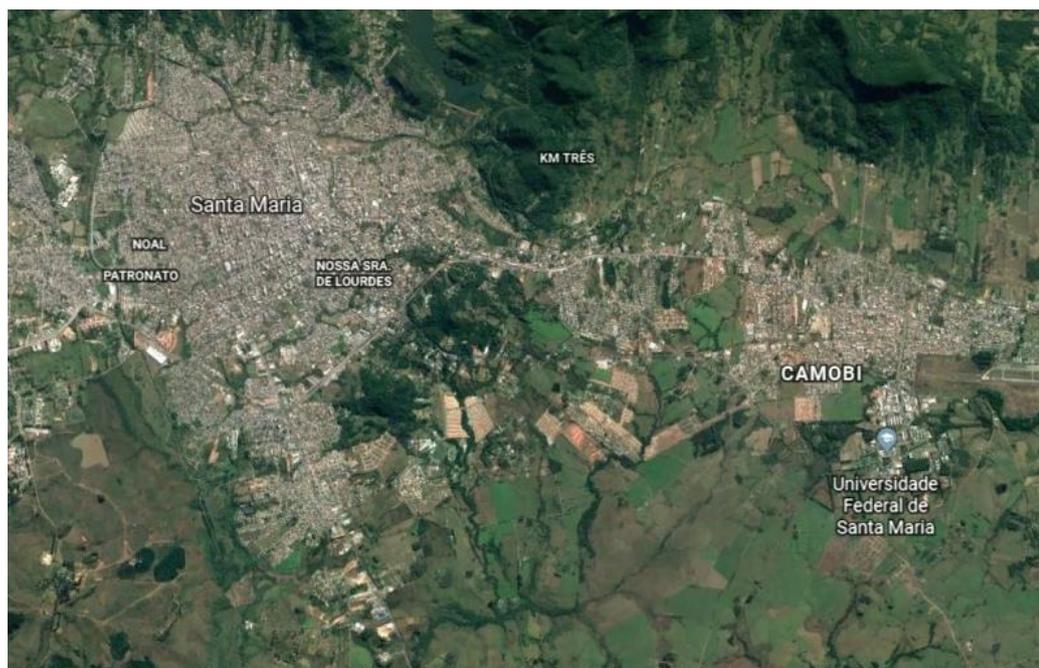
Figura 21 – Clima temperado e mesotérmico da cidade de Santa Maria



Fonte: Klusener, 2009, p. 55

A edificação, que é o objeto de estudo desta dissertação é o Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, está localizada no bairro Camobi (Figura 22). Klusener (2009, p. 56) descreve que este bairro “situa-se na zona com temperaturas moderadas: orientação a leste da cidade, em uma área de topografia suave sem desníveis acentuados no relevo e com uma concentração relativa de vegetação, que absorve grande parte da radiação incidente”.

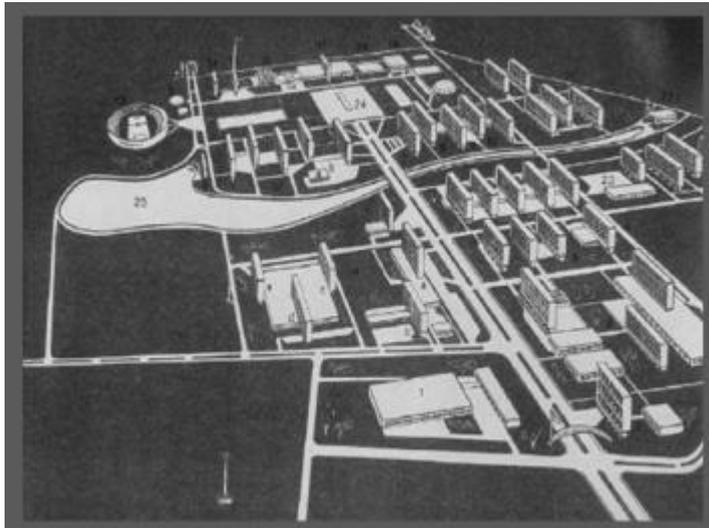
Figura 22 – Santa Maria, Bairro Camobi e a UFSM



Fonte: Google Earth, 2018

A UFSM foi fundada pela Lei N^o 3.834-C, em 14 de dezembro de 1960, pelo Professor José Mariano da Rocha Filho e instalada em 18 de março do ano seguinte. É uma Instituição Federal de Ensino Superior, vinculada ao Ministério da Educação. A concepção do projeto e sua execução foram realizadas pelos arquitetos Oscar Valdetaro e Roberto Nadalutti (PEREIRA, 2012). A Figura 23 apresenta a proposta da organização espacial para o Campus proposta pelos arquitetos.

Figura 23 Organização Espacial do Campus da UFSM.



Fonte: Pereira, 2012, p. 20

Em relação a construção, Pereira (2012) citando Grigoletti (2008) afirma que:

No plano adotado pelos arquitetos, a sua concepção segue a lógica das técnicas construtivas de Lúcio Costa nos seguimentos da linha de Le Corbusier, baseada nos cinco pontos da Arquitetura. Os edifícios também fazem o uso profuso de brises, pavimentos térreos em pilotis ou com transparências, grandes saguões marcando os acessos, estruturas aparentes, fenestração em cortina perpassando vários pavimentos ou janelas em fitas, tratamento apurado para os pilares, murais, cobogós, coroamentos, planta livre e, conseqüentemente, flexibilidade de ambientes internos, entre outros recursos típicos do modernismo. (PEREIRA, 2012, p. 21)

Verifica-se que na descrição acima há vários elementos que estão presentes no prédio do Centro de Tecnologia, objeto deste estudo e que será melhor descrito no item que segue.

Outra questão abordada pelo Modernismo, período do prédio é a utilização da insolação para questões de higiene. Lima e Godinho (2016) apresentam um trabalho sobre a Arquitetura Moderna e os manuais de higiene escolar. Os autores apresentam as condições para a manutenção da saúde dos estudantes, enfocando aspectos do solo, ar, água, vestuário,

alimentação, clima e os prédios escolares. Os mesmos autores citam que no manual *Hygiene escolar e pedagogia*, seu autor, o doutor Mello, apresentava discussão a respeito da orientação do prédio, indicando que alguns especialistas acreditavam que a luz apresentava uma ação antibacteriana e portanto, a sala de aula deveria estar direcionada de maneira que pudesse se aproveitar ao máximo os benefícios da luz solar. Lima e Godinho (2016, p. 11) escreveram: "Mello, particularmente, declarava-se partidário da luz direta sobre os edifícios escolares" Esta pode ser uma explicação para a orientação solar do prédio do Centro de Tecnologia

3.1.2 Centro de Tecnologia

O Centro de Tecnologia está localizado próximo à entrada do Campus (Figura 24), à direita da Avenida Roraima e está implantado na direção dos eixos Norte-Sul. A fachada principal, de maior dimensão, está orientada para a direção Leste, conforme Figura 25.

Figura 24 – Mapa da UFSM



Fonte: Google Maps, 2018

Figura 25 – Vista aérea Prédio do Centro de Tecnologia



Fonte: Google Earth, 2018

O Centro de Tecnologia foi fundado em 30 de junho de 1960, sendo denominado inicialmente de Centro Politécnico, sua construção é de formato retangular com estrutura em concreto armado e o fechamento das paredes em alvenaria de tijolos maciços. A maioria das paredes externas são revestidas por pintura acrílica, havendo algumas revestidas com placas cerâmicas (Figura 26).

Figura 26– Centro de Tecnologia da UFSCar

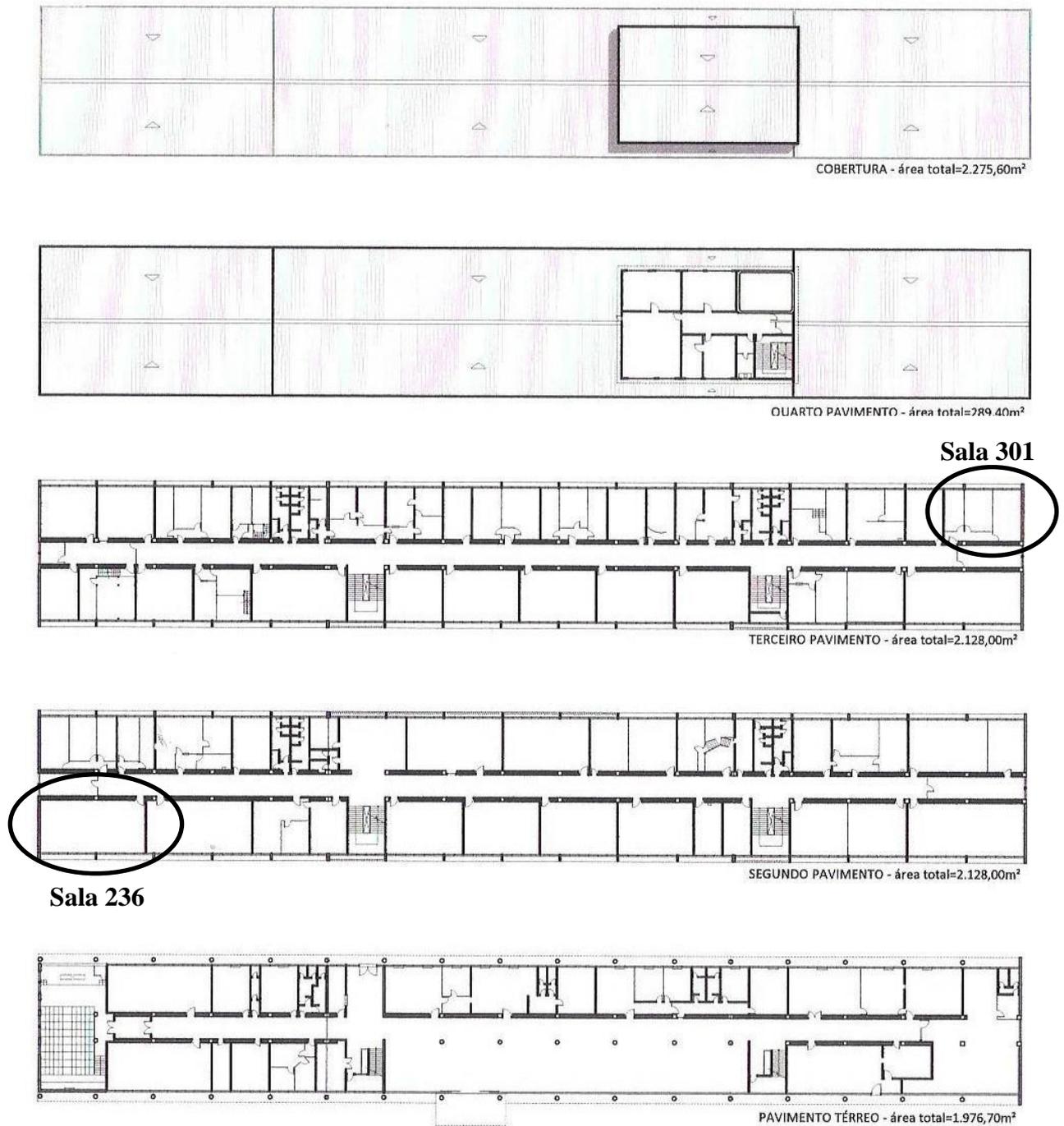


Fonte: Google Earth, 2018

No prédio estão contidos os espaços administrativos e de ensino, com direção do centro, coordenações dos cursos, departamentos, sala de professores, salas de aula, laboratórios e espaços de convivência, distribuídos em três pavimentos e em parte do quarto

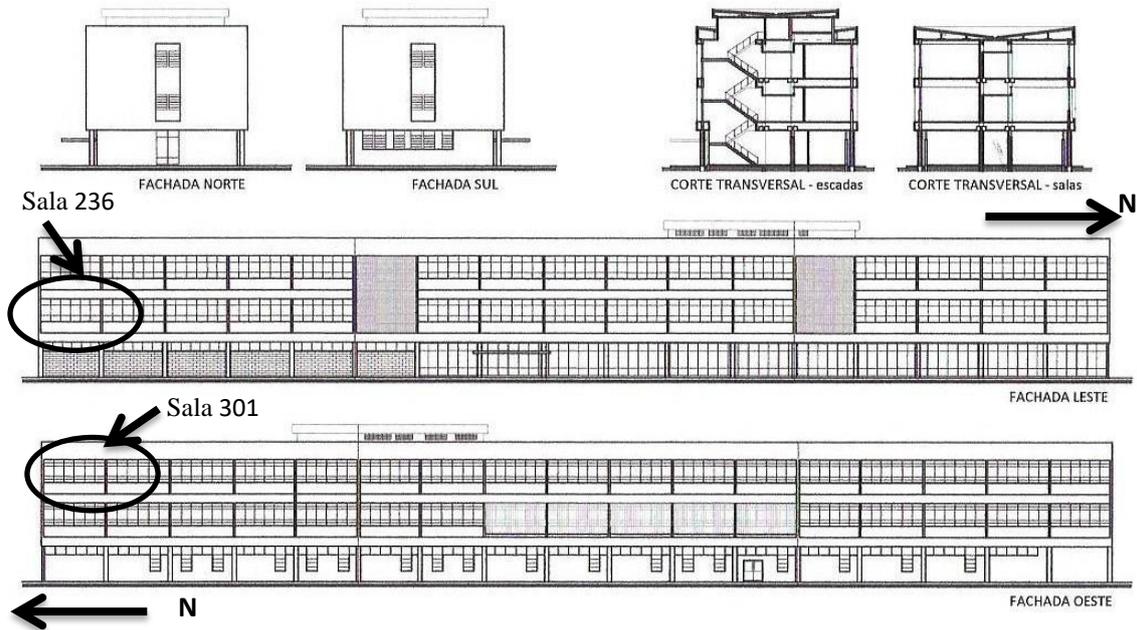
pavimento. Os ambientes são condicionados artificialmente ou naturalmente ventilados. As Figuras 27 e 28 apresentam as plantas baixas, cortes e fachadas do prédio.

Figura 27 – Centro de Tecnologia - Plantas Baixas do Edifício



Fonte: Klusener, 2009, p. 58

Figura 28 – Centro de Tecnologia – Cortes e fachadas do Edifício



Fonte: Klusener, 2009, p. 59

A edificação apresenta esquadrias metálicas com acabamento em pintura e fechamento com vidros transparentes, planos e incolores. A circulação vertical é realizada através das escadas, sendo que estas estão protegidas da radiação solar por elementos fixos, os cobogós, conforme a Figura 29. Parte da fachada oeste está protegida por meio de proteções solares, conforme Figura 30.

Figura 29 – Fachada leste do Centro de Tecnologia apresentando os cobogós



Fonte: Google Earth, 2018

Figuras 30 – Fachada oeste do Centro de Tecnologia apresentando proteção solar



Fonte: Google Earth, 2018

A cobertura da edificação é em duas águas e recoberta com telhas de fibrocimento, distribuídas longitudinalmente ao longo da edificação.

Para simulação computacional foi empregado o programa *EnergyPlus*, conforme indicado pela norma NBR 15575 (2013). Para determinação das salas a serem avaliadas, a norma indica: “ A unidade habitacional desta edificação escolhida para a simulação deve ser a mais crítica do ponto de vista térmico” (NBR 15575-1, 2013, p. 22). A norma ainda descreve quais unidades são mais críticas:

Como condição crítica do ponto de vista térmica, recomenda-se que:

a) verão: janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte. Caso

não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste;

b) inverno: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste.

Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul; (NBR 15575-1, 2013, p. 22).

Conforme o que foi descrito, as salas consideradas críticas na edificação foram a sala 236, sala no segundo piso, no lado sul e fachada voltada com esquadrias voltadas para leste e a sala 301, sala no terceiro pavimento, no lado norte e com fachada com esquadrias voltada para oeste. A sala 236 é uma sala de aula para 50 alunos e a sala 301 é uma sala de laboratório de informática do curso de Engenharia de Produção. Ambas as salas estão indicadas na Figura 28.

Assim, com todos os dados da edificação, procedeu-se a construção da maquete digital com 40 zonas térmicas e inseriu-se todos os dados referentes a edificação. Procedeu-se a

avaliação termo energética e a partir dos cômodos mais críticos efetuaram-se as propostas passivas de alteração, conforme descritos no item 3.2.

3.1.2.1 Propriedades Térmicas dos Fechamentos da Edificação empregados na simulação

No Quadro 11 estão indicados os valores de Transmitância Térmica e da Capacidade Térmica da edificação.

Quadro 11 – Valores de Transmitância Térmica e Capacidade Térmica dos Fechamentos Opacos Verticais da Edificação

Parede	Configuração	U (Transmitância) (W/m²K)	C (Capacidade Térmica) (KJ/m²K)
Parede 15 cm	(1,5 cm de argamassa+12 cm de tijolo cerâmico maciço+1,5 cm de argamassa)	3,104	247,93
Parede 27 cm	(1,5 cm de argamassa+24 cm de tijolo cerâmico maciço+1,5 cm de argamassa)	2,24	440,05
Concreto (Vigas)	(10 cm)+ Ar (45 cm) + Concreto (25 cm)	1,852	770,0
Concreto (vigas concreto das escadas 1º. Andar)	Concreto (10 cm)+ Ar (35 cm) + Concreto (25 cm)	1,85	770,0
Concreto (Vigas concreto escada 2º Andar)	Concreto(10 cm)+ Ar (55 cm) + Concreto (25 cm) + Ar (45 cm) + Concreto (10 cm)	1,304	990,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Os valores de Fator Solar e Transmitância dos vidros empregados foram fornecidos do programa Window 7.4, conforme Quadro 12.

Quadro 12 – Propriedades térmicas dos vidros empregados

Vidro	Configuração	U (Transmitância)	FSo (Fator Solar)
Liso 3 mm	Vidro liso 3 mm	5,8 W/m ² K	0,914
Vidro duplo	Vidro liso 3 mm+Ar+Vidro liso 3mm	2,731 W/m ² K	0,775

Fonte: Window 7.4

A absorptância solar empregada para paredes cerâmicas, revestido e pintado de azul claro, foi de $\alpha = 0,20$. Para a cobertura, foi empregado a absorptância solar de telhas de fibrocimento envelhecido de $\alpha = 0,85$, conforme Tabarelli (2017).

Na cobertura, quando realizada a alteração colocando isolamento térmico, foi utilizado Lã de vidro (5 cm) com condutividade térmica de 0,045, densidade de 50 Kg/m² e calor específico de 700 J/kgK.

Para os fechamentos opacos de cobertura foram empregados as telhas de fibrocimento e metálicas e as propriedades térmicas encontram-se no Quadro 11:

Quadro 13 – Propriedades dos fechamentos opacos de cobertura

Telha	Configuração	Condutividade (W/m.K)	Densidade (Kg/m³)	Calor Específico (J/KgK)	Transmitância (U) da Cobertura (W/m²K)
Fibrocimento (0,06mm)	(6mm Telha + ar + 12 cm Laje + 1 cm argamassa)	0,65	1900	840	2,02
Metálica (0,05mm)	(5 mm Telha + ar + 12 cm Laje + 1 cm argamassa)	230	2700	880	2,05

Fonte: NBR 15220

Com emprego da lã de vidro, a transmitância da cobertura com telhas de fibrocimento passou para 0,621 W/m²K e com a telha metálica, a transmitância passou para 0,625 W/m²K.

A absorptância solar empregada para o telhado metálica foi de $\alpha = 0,15$.

3.1.2.2 Padrões de Uso e Ocupação, Atividade, Iluminação, Equipamentos e Ar Condicionado

Neste item serão descritos o uso e ocupação, a atividade, iluminação, equipamentos e ar condicionado e o horário de funcionamento da edificação.

3.1.2.2.1 Padrões de Uso e Ocupação

Nas salas de aula foram consideradas a lotação indicada para as mesmas, para as salas de Professores foram empregados 3 professores por sala. Nos corredores foram consideradas 0,3 pessoas/m². Para o padrão de ocupação, o horário de funcionamento do prédio durante o

ano utilizado foi, para dias de semana, das 7:30 h da manhã até as 12:30h e das 13:30 até as 18:30, com 100% de ocupação. Nos demais horários, finais de semana e feriados foi considerado sem ocupação.

3.1.2.2.2 Atividade

Para as atividades empregadas, as taxas metabólicas foram baseadas na ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009), que considera uma área de pele média de $1,8 \text{ m}^2$. Para a sala a atividade sentado, o calor produzido é de 60 W/m^2 e o calor produzido é de 108 W/pessoa . Para atividade andando o calor produzido é de 126 W .

3.1.2.2.3 Iluminação, Equipamentos e Ar Condicionado

Para a iluminação foi considerada a norma NBR 16401(2008), sendo considerada uma potência dissipada, nas salas de aula de 16 W/m^2 e nos corredores e banheiros de 6 W/m^2 . Para o padrão de uso, foram empregados os mesmos horários de funcionamento das salas, para dias de semana, das 7:30h da manhã até as 12:30h e das 13:30 até as 18:30, com 100% de ocupação. Nos demais horários, finais de semana e feriados foi considerado sem ocupação. Com relação aos corredores, o horário de funcionamento empregado foi das 7:00h até as 22:h.

Para os equipamentos foram considerados 1 *datashow* e um computador pessoal (135W) para cada sala de aula e 3 computadores com impressoras (1050 W) para as salas de professores. Para a sala 301, que é um laboratório de informática, foram considerados 25 computadores nela existentes (7500 W).

Para o ar condicionado, no programa *EnergyPlus* deve ser introduzido a temperatura de *setpoint* do termostato para aquecimento e a temperatura de *setpoint* do termostato para arrefecimento. Os valores empregados foram de 21°C e 25°C , respectivamente, conforme Cunha (2017), e foram empregados os mesmos horários descritos anteriormente.

A seguir serão descritos todas as simulações realizadas na sala 236 e 301, conforme apresentado nos quadros 12 e 13 e que serão melhor descritos nos itens a seguir.

3.2 SIMULAÇÕES DA SALA 236 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O INVERNO

3.2.1 Avaliação do consumo de energia na sala 236 condicionada artificialmente, na situação atual, com e sem infiltração

Nesta etapa será avaliada a sala 236 condicionada artificialmente, com e sem infiltração de 1 Ren/h e sendo o seu consumo energético avaliado.

3.2.2 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 ventilada naturalmente na situação atual

Neste item a sala 236 será avaliada, sem estar condicionada artificialmente e com e sem infiltração de 1 Ren/h, sendo avaliados a sua temperatura interna, os fluxos térmicos, com ganhos e perdas térmicas, para cada situação.

3.2.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 236 com a alteração para esquadria de vidro duplo

Nesta etapa, as mesmas avaliações realizadas no item anterior serão realizadas, entretanto haverá a troca por esquadria com vidro duplo (vidro liso 3mm+Ar+ vidro liso 3mm), sem infiltração.

3.2.3.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575

Será verificado o nível obtido para desempenho térmico da norma NBR 15575, com os valores de temperatura operativa interna.

3.2.4 Avaliação do consumo de energia na situação atual e com modificação da esquadria com vidro duplo sem infiltração

Será verificado o consumo de energia quando a sala 236 na situação atual, com ar condicionado com e sem infiltração e após a alteração para esquadria com vidro duplo.

3.3 SIMULAÇÕES DA SALA 301 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O VERÃO

3.3.1 Simulação para a sala 301 na situação atual, condicionada artificialmente

Nesta etapa, a sala 301 será avaliado o consumo energético para resfriamento da sala condicionada artificialmente, com e sem infiltração de 1 Ren/h.

3.3.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e graus-hora na sala 301. Sem ar condicionado e sem e com infiltração de 1 Ren/h

Nesta etapa, a sala 301 sem o ar condicionado ativado, a temperatura interna, fluxos térmicos serão avaliados, com e sem infiltração de 1 Ren/h

3.3.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301 com ventilação interna 5, 10 e 15 renovações de ar por hora e emprego de isolamento térmico na cobertura

Nesta etapa do trabalho, será empregada na cobertura o isolamento térmico, com lã de vidro e a sala foi ventilada com 5, 10 e 15 Ren/h. Para cada simulação se avaliará a temperatura interna e fluxos térmicos.

3.3.4 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica

Nesta etapa será utilizada a ventilação de 15 Ren/h na sala 301 e cobertura com isolamento térmico e telhas metálicas. Serão novamente avaliados a temperatura interna, e fluxos térmicos.

3.3.5 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos da sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica e proteção solar na fachada oeste

As mesmas avaliações da etapa anterior serão realizadas, entretanto será empregado proteção solar na fachada oeste, visando minimizar o ganho térmico pela parede voltada a oeste.

3.3.5.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 com emprego de proteção solar na sala 301

Será verificado o nível obtido para desempenho térmico da norma NBR 15575, com os valores de temperatura operativa interna.

3.3.6 Avaliação do consume de energia com isolamento térmico, telha metálica, proteção solar e sem infiltração

Neste item será verificado o consumo de energia para a situação atual da sala 301, com ar condicionado e infiltração de 1 Ren/h e após todas as modificações.

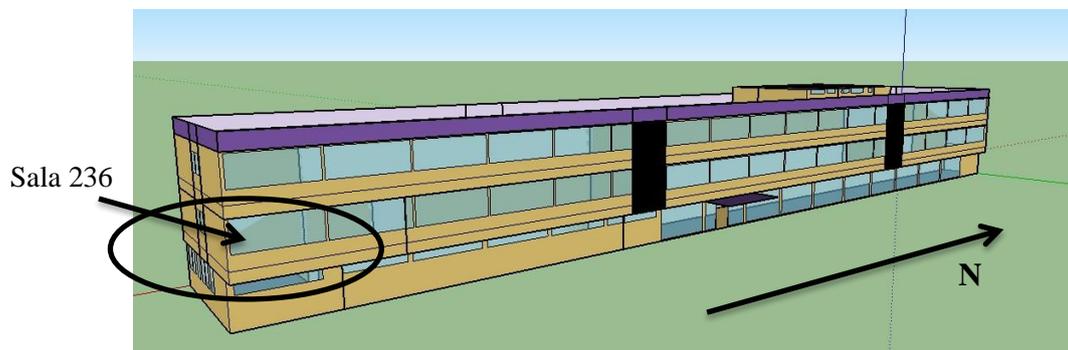
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações realizadas referentes as duas salas avaliadas, na situação mais crítica, do prédio do Centro de Tecnologia da UFSM, conforme indicado pela norma de desempenho.

As salas estudadas foram a sala 236, sala no segundo piso, no lado sul e fachada voltada para leste e a sala 301, sala no terceiro pavimento, no lado norte e com fachada voltada para oeste. A sala 236 é uma sala de aula para 50 alunos e a sala 301 é uma sala de laboratório de informática do curso de Engenharia de Produção.

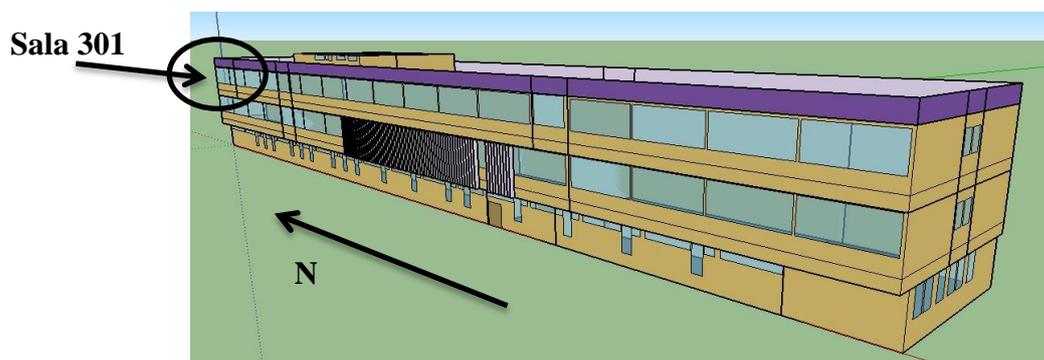
A Figura 31 apresenta a fachada principal com orientação leste e sala 236 em estudo encontra-se selecionada. A Figura 32 apresenta a fachada com orientação oeste do Centro de Tecnologia e a outra sala avaliada, sala 301 encontra-se selecionada. Ambas as maquetes foram elaboradas no programa *Sketchup 15*.

Figura 31 – Fachada leste do Centro de Tecnologia elaborada no Sketchup 15



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Figura 32 – Fachada oeste do Centro de Tecnologia elaborada no Sketchup.15



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Utilizando todas as informações da edificação contidas nas plantas, cortes e fachadas, bem como a iluminação, ventilação natural e condicionamento de ar e todo o esquema de funcionamento de todas as salas e circulações, durante todo o ano e empregando o Programa *EnergyPlus* 8.3, foi realizada a simulação computacional e foram obtidos os resultados descritos a seguir.

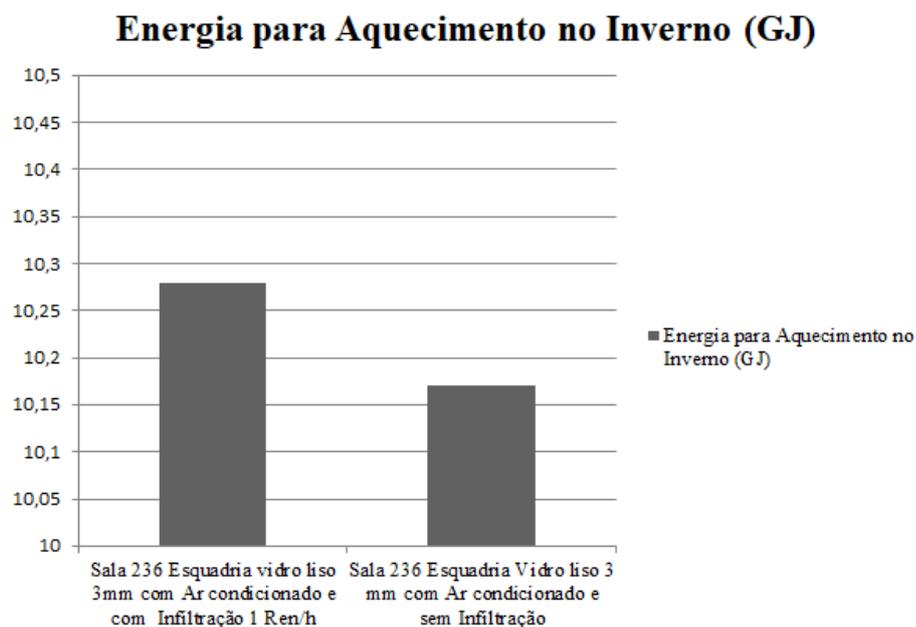
4.1 SIMULAÇÕES DA SALA 236 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O INVERNO

Para as simulações de avaliação da Sala 236, inicialmente foram consideradas a sala na sua situação atual de uso, condicionada artificialmente, com esquadrias de vidros simples de 3 mm e com e sem a infiltração de 1 Ren/h e com isso, foi avaliado inicialmente o consumo energético nestas situações .

4.1.1. Avaliação do consumo de energia na sala 236 condicionada artificialmente, na situação atual, com e sem infiltração

Inicialmente, foram realizadas as análises para a Sala 236 avaliando o gasto energético da mesma na sua situação real, condicionada artificialmente, com infiltração de 1 Ren/h (o que representaria as frestas que estão presentes nas janelas na sua situação real) e sem a infiltração, caso as janelas fossem seladas. A Figura 33 apresenta os resultados obtidos.

Figura 33 – Energia para Aquecimento no Inverno da Sala 236 na situação atual



Fonte: Elaborado pela autora

Observando-se a Figura 33 verifica-se o gasto dispendido com relação à infiltração de ar 1 Ren/h, o que deveria ser evitado, diminuindo consideravelmente o gasto energético.

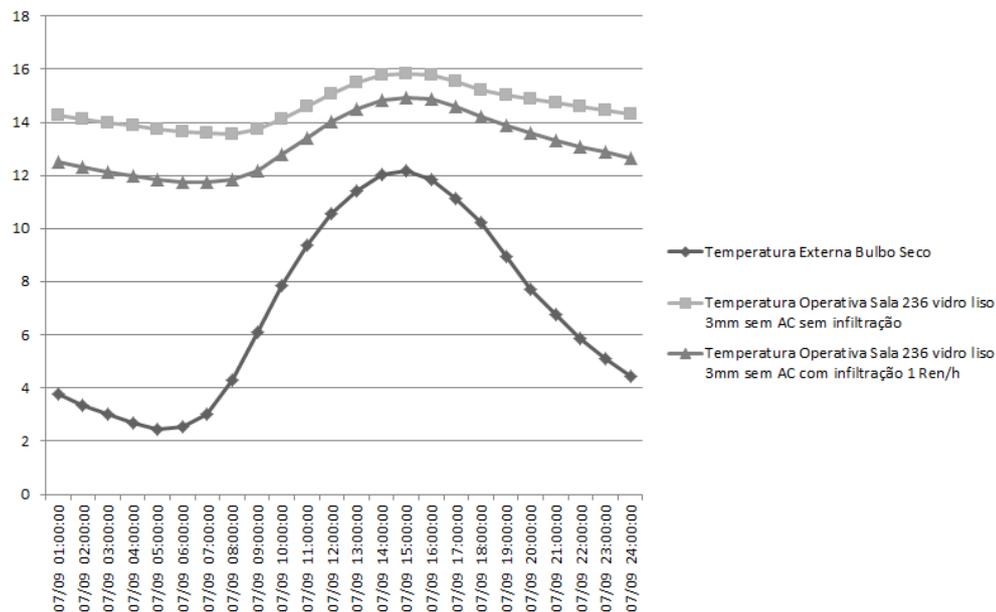
Após estas simulações, visando reduzir o consumo energético, outras simulações foram realizadas na sala desligando o ar condicionado e propondo alterações a fim de melhorar o seu desempenho.

4.1.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 ventilada naturalmente na situação atual

Visando reduzir o consumo energético, outras simulações foram realizadas na sala desligando o ar condicionado. Foi avaliado a temperatura interna e o fluxo térmico da sala em duas situações, com infiltração de 1 Ren/h, devido as frestas das janelas e sem ar condicionado e sem nenhuma infiltração.

A Figura 34 apresenta as temperaturas do dia típico de inverno, que é o dia 9 de julho, para sala nestas condições.

Figura 34 - Dia Típico de inverno na sala 236 na situação atual, sem ar condicionado, com ventilação de 1 Ren/h e sem ventilação



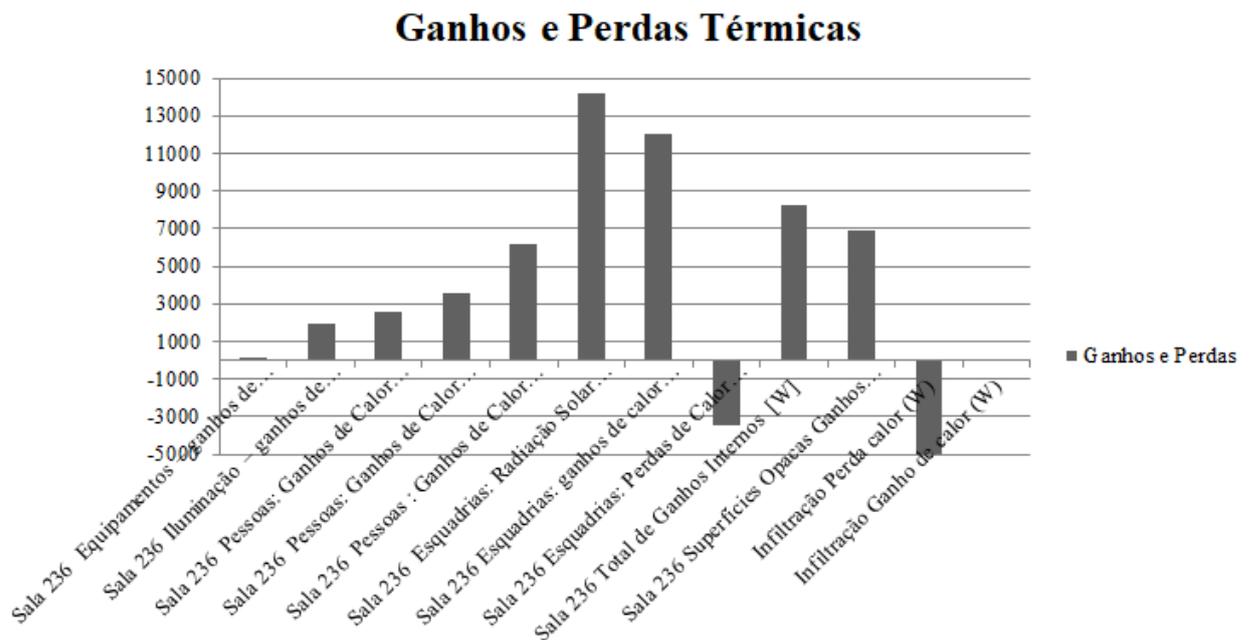
Fonte: Elaborado pela autora,

Para melhor avaliação do desempenho térmico, os resultados a seguir apresentam os ganhos e perdas térmicas da sala em estudo nos meses de inverno, estando representados os ganhos de calor com equipamentos, iluminação, pessoas, ganhos e perdas pelas esquadrias e

por superfície opacas. Na figura apresentada, os valores positivos representam os ganhos e os valores negativos, as perdas.

A Figura 35 apresenta os fluxos térmicos da sala 236 sem condicionamento artificial e com infiltração de 1 Ren/h, com esquadria de vidros simples.

Figura 35 – Ganhos e Perdas Térmicas na sala 236, com esquadria de vidro liso 3mm, sem condicionamento artificial e com infiltração de 1 Ren/h.



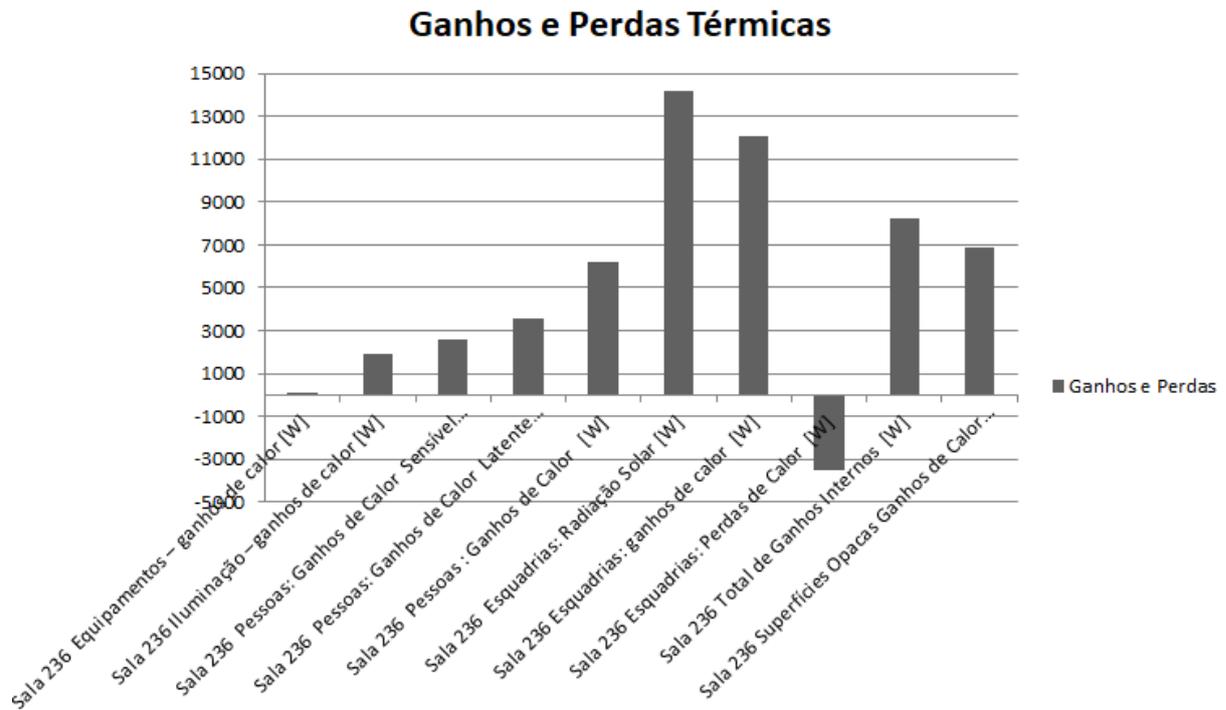
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Observando os resultados, verifica-se que há maiores ganhos e perdas através das esquadrias. Além das perdas pelas esquadrias, também houve perdas por infiltração, na ordem de -5000 W.

Observando a Figura 36 a seguir, é possível verifica-se que os maiores ganhos térmicos ocorrem através das esquadrias. Isso pode ser explicado pelo Fator Solar do vidro liso 3 mm (0,91), demonstrando que uma elevada porcentagem de energia solar incidente atravessa o vidro para o lado interno. Entretanto, ocorrem perdas na ordem de -3000 W pelas esquadrias nos meses de inverno, devido a menor resistência a passagem da onda de calor do interior da sala para a face externa.

Este resultado demonstra que, para melhoria das condições internas da sala, a alteração da esquadria de vidro simples para esquadria de vidro liso, sem infiltração, seria a solução mais adequada para esta sala em estudo, o que será avaliado a seguir.

Figura 36 - Ganhos e Perdas Térmicas na sala 236 sem condicionamento artificial e sem infiltração e com esquadria de vidro simples.



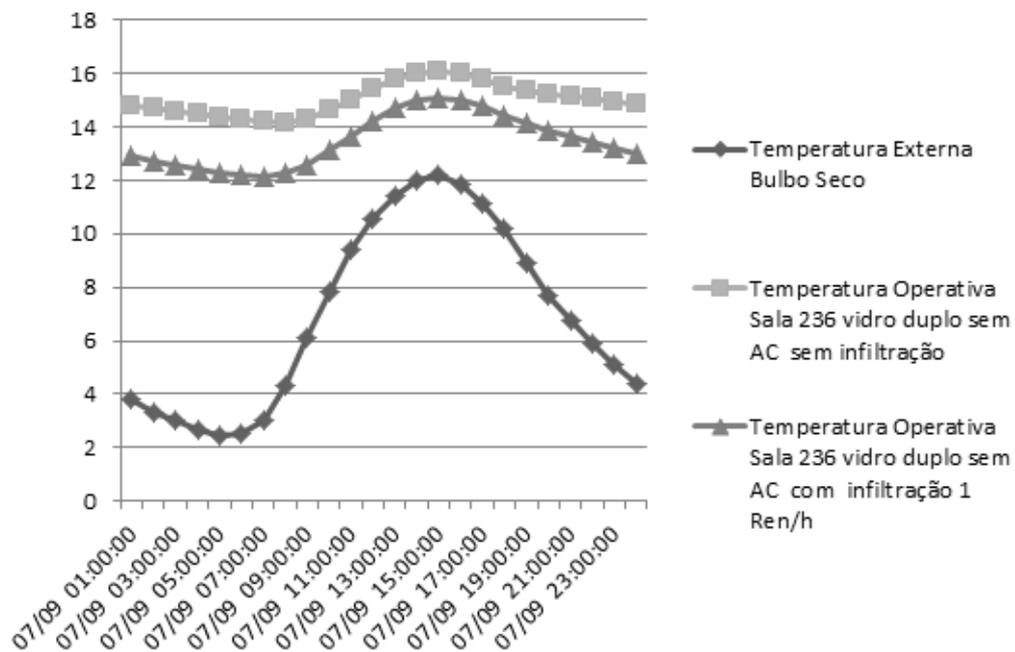
Fonte: Elaborado pela autora, 2016

4.1.3. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 236 com a alteração para esquadria de vidro duplo

Na sala 236, foi proposta a alteração da esquadria atual para esquadria com vidro duplo, formando o conjunto vidro liso 3mm +Ar+ vidro liso 3 mm.

A Figura 37 apresenta o dia típico de inverno para sala 236 com esquadria de vidro duplo, sem ar condicionado, com e sem e com ventilação de 1 Ren/h.

Figura 37 - Dia Típico de inverno na sala 236 na situação atual, sem ar condicionado e sem ventilação e com ventilação de 1 Ren/h



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

As Figuras 38 e 39 apresentam os Fluxos térmicos da sala 236 quando do emprego do vidro duplo (vidro liso 3mm+Ar+ vidro liso 3mm)

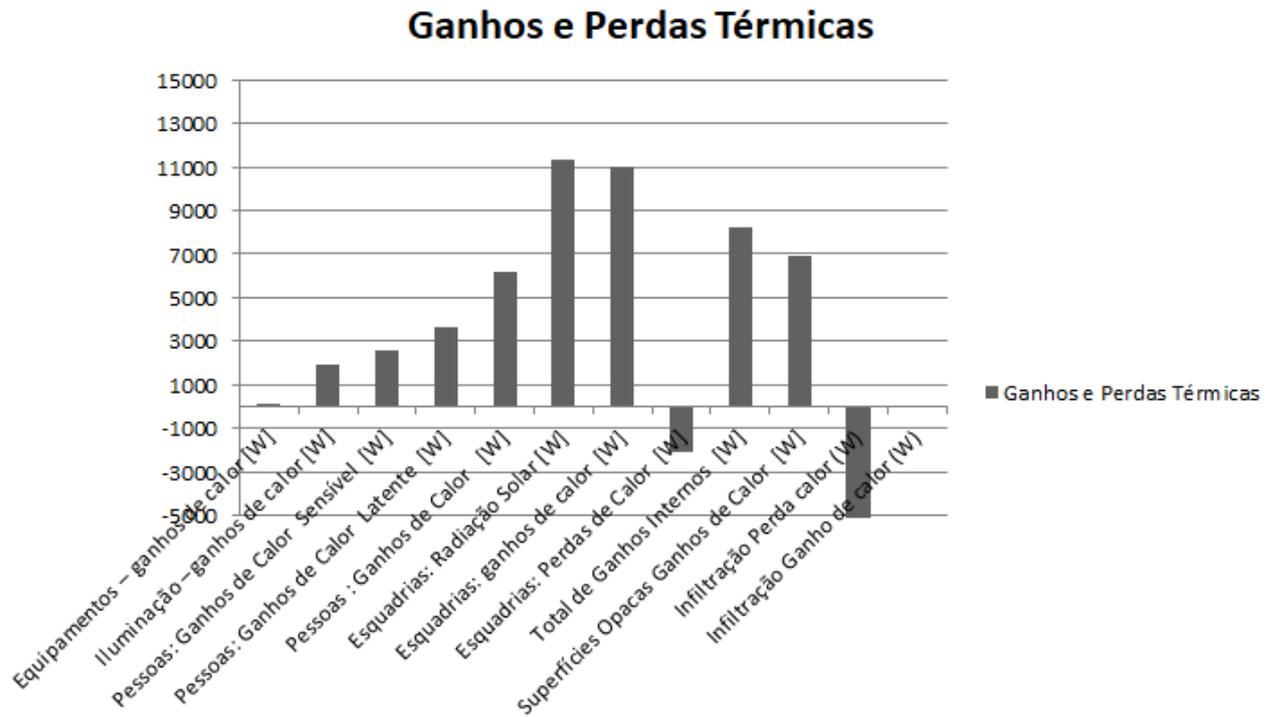
Com relação aos ganhos e perdas pela esquadria, em média, os resultados demonstraram que para a combinação vidro liso 3mm +Ar+ vidro liso 3mm atingiram 11026,6 W e -2106,7 W, respectivamente e as perdas pela infiltração de ar atingem -8489,5 W. Portanto, a fim de minimizar as perdas por infiltração, esta foi retirada e os resultados encontram-se a seguir.

Assim nesta proposta analisada, verifica-se que os ganhos e perdas de calor são similares as apresentadas na Figura 38, entretanto não haverá perdas de calor por infiltração no inverno, conforme pode ser verificado.

Comparando os resultados da esquadria de vidro simples e esquadria de vidro duplo, esta apresenta melhores resultados, que pode ser explicado pela maior resistência térmica ($U=2,73 \text{ W/m}^2\text{K}$), comparativamente ao vidro liso 3mm ($U=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$).

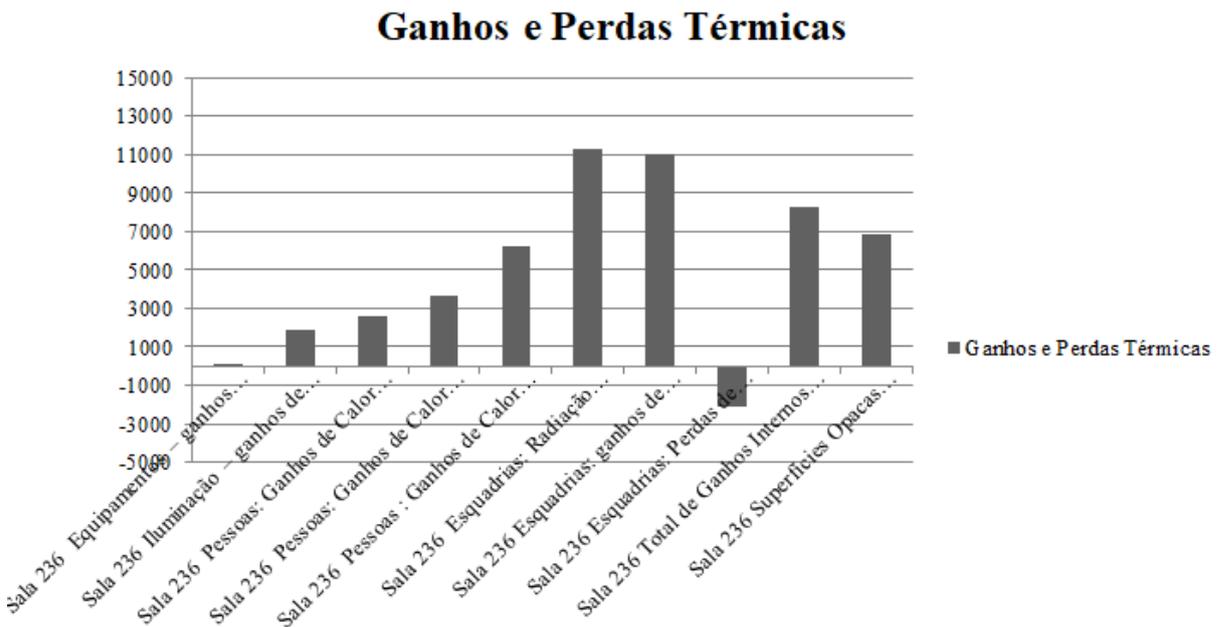
Portanto, adotou-se a solução de esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm+Ar+vidro liso com 3 mm) como melhor solução para o período em análise e sem infiltração de 1 Ren/h, que será obtido por esquadrias de melhor qualidade de fechamento, sem infiltração.

Figura 38 – Fluxo Térmico da Sala 236 sem condicionamento artificial, com ventilação de 1 Ren/h, com esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm+ar+vidro liso 3 mm).



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Figura 39 – Fluxo Térmico da Sala 236 sem condicionamento artificial e sem infiltração, com esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm+ar+vidro liso 3 mm).



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

4.1.3.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575

Para a determinação do nível de desempenho da Sala 236 nas condições adotadas e que são anteriormente citadas, comparou-se a temperatura operativa da sala com os níveis indicados pela norma 15575 (2013) (Nível Mínimo = temperatura interna deverá ser maior que a temperatura externa mínima +3°C; Nível Intermediário= temperatura interna deverá ser maior que a temperatura externa mínima +5°C; Nível Superior = temperatura interna deverá ser maior que a temperatura externa mínima +7°C).

O Quadro 14 apresenta a temperatura máxima do dia típico de inverno para a sala 236, com vidro duplo, sem condicionamento de ar e sem infiltração. Verifica-se que a sala, nesta condição, atende ao nível superior da norma, o que demonstra ser esta uma solução adequada a ser adotada.

Quadro 14 - Atendimento da Sala 236 a NBR 15575 (2013), empregando esquadria de vidro duplo, sem infiltração

Temperatura Externa Mínima	Desempenho Mínimo (Textmín+3°C)	Desempenho Intermediário (Textmín + 5°C)	Desempenho Superior (Textmín + 7°C)	Temperatura Operativa Sala 236 Situação Atual	Temperatura Operativa Sala 236 após modificações
2,47°C	5,47 °C	7,47°C	9,47°C	11,7 °C	14,17 °C

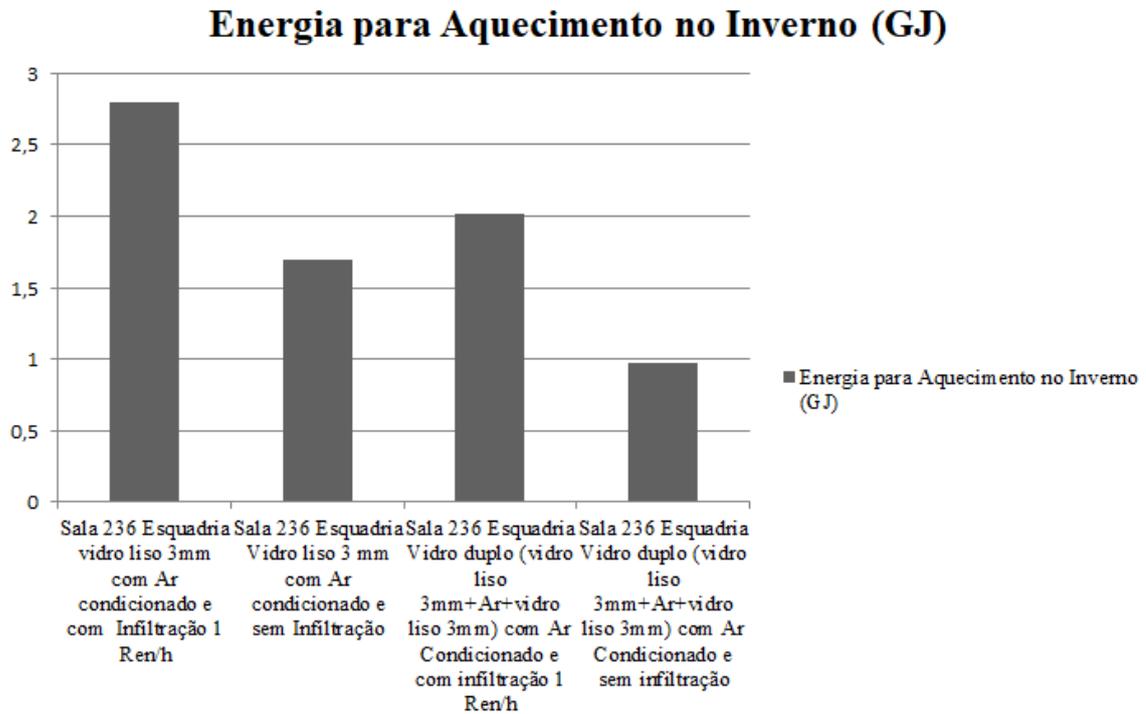
Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, após todas as análises, a melhor solução a ser adotada para o período de inverno, seria substituição das esquadrias para esquadrias de vidro duplo, com transmitância de 2,731 W/m²K, sem condicionar artificialmente e sem infiltração, sendo que esta solução atende ao nível superior de desempenho da norma NBR 15575 (2013).

Após estas simulações, as esquadrias foram modificadas para esquadrias de vidro duplo (U = 2,731 W/m²K), novamente condicionada artificialmente, com e sem infiltração de 1 Ren/h e avaliado o seu consumo energético para aquecimento, comparativo a situação real da edificação (U = 5,8 W/m²K).

Na Figura 40 são apresentados os resultados obtidos e observa-se que os menores gastos ocorrem quando o emprego do vidro duplo e sem infiltração, corroborando o resultado anterior.

Figura 40 – Energia dispendida para Aquecimento da Sala 236 para o período de inverno na situação atual e com vidro duplo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

4.2 SIMULAÇÕES DA SALA 301 DO CENTRO DE TECNOLOGIA PARA O VERÃO

Devido à localização da sala 301 no prédio do Centro de Tecnologia, situação crítica para o verão, esta foi avaliada para este período, pois a mesma encontra-se com fachada envidraçada para oeste e outra fachada opaca para norte, além de ser um laboratório de informática, o que proporciona um maior ganho de calor devido aos equipamentos. Assim, o objetivo foi propor soluções para a sala e verificar o desempenho térmico da norma NBR 15575 (2013).

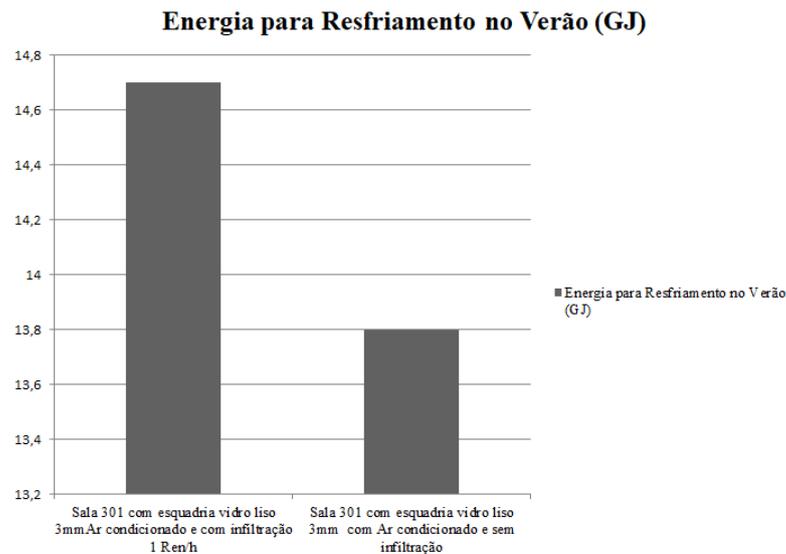
Inicialmente foi avaliado o consumo energético da sala na sua situação atual, condicionada artificialmente, com e sem infiltração de 1 Ren/h. Após esta etapa, foram propostas as alterações com o emprego de isolamento térmico na cobertura e o emprego de ventilação 5 Ren/h, 10 Ren/h e 15 Ren/h. Além disso, empregou-se telhas metálicas e proteção solar e determinou-se o nível de desempenho conforme a norma NBR 15575.

Na etapa final foram novamente avaliados o consumo energético para resfriamento, após definir a melhor solução.

4.2.1 Simulação para a sala 301 na situação atual, condicionada artificialmente

Inicialmente foram avaliadas, para a situação atual, o consumo de energia sofrido nas condições de funcionamento da sala, na condição condicionada artificialmente, sem nenhuma infiltração e com infiltração de 1 Ren/h, conforme a Figura 41.

Figura 41 – Energia para Resfriamento da Sala 301 no verão



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Observando a Figura 41, verifica-se o acréscimo de energia necessária (0,9 GJ) quando da presença de infiltração de 1 Ren/h pelas janelas, comparativamente ao consumo quando da sala condicionada artificialmente sem a infiltração.

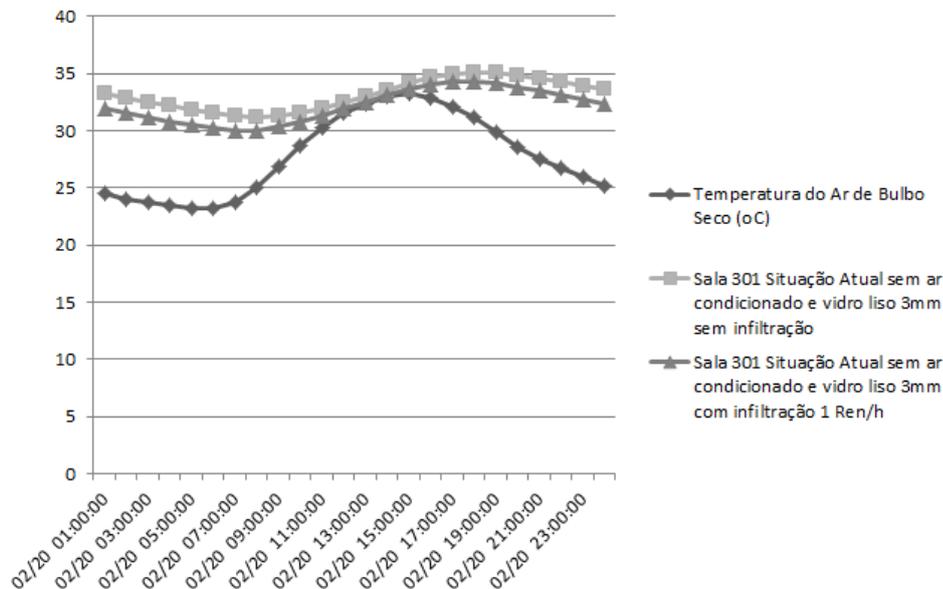
Visando reduzir o consumo energético, o condicionamento artificial da sala foi desligado e propostas de alterações, a fim de melhorar o seu desempenho, foram realizadas e avaliadas.

4.2.2. Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301. Sem ar condicionado e sem e com infiltração de 1 Ren/h

Visando reduzir o consumo energético, outras simulações foram realizadas na sala desligando o ar condicionado. Foi avaliado a temperatura interna e o fluxo térmico da sala em duas situações, sem ar condicionado, com infiltração de 1 Ren/h, devido as frestas das janelas e sem ar condicionado e sem nenhuma infiltração.

A Figura 42 apresenta o dia típico de verão para sala 301 na sua situação atual, sem ar condicionado, e com ventilação de 1 Ren/h e sem ar condicionado e sem infiltração.

Figura 42 - Dia Típico de verão na sala 301 na situação atual, sem ar condicionado e sem ventilação e com ventilação de 1 Ren/h

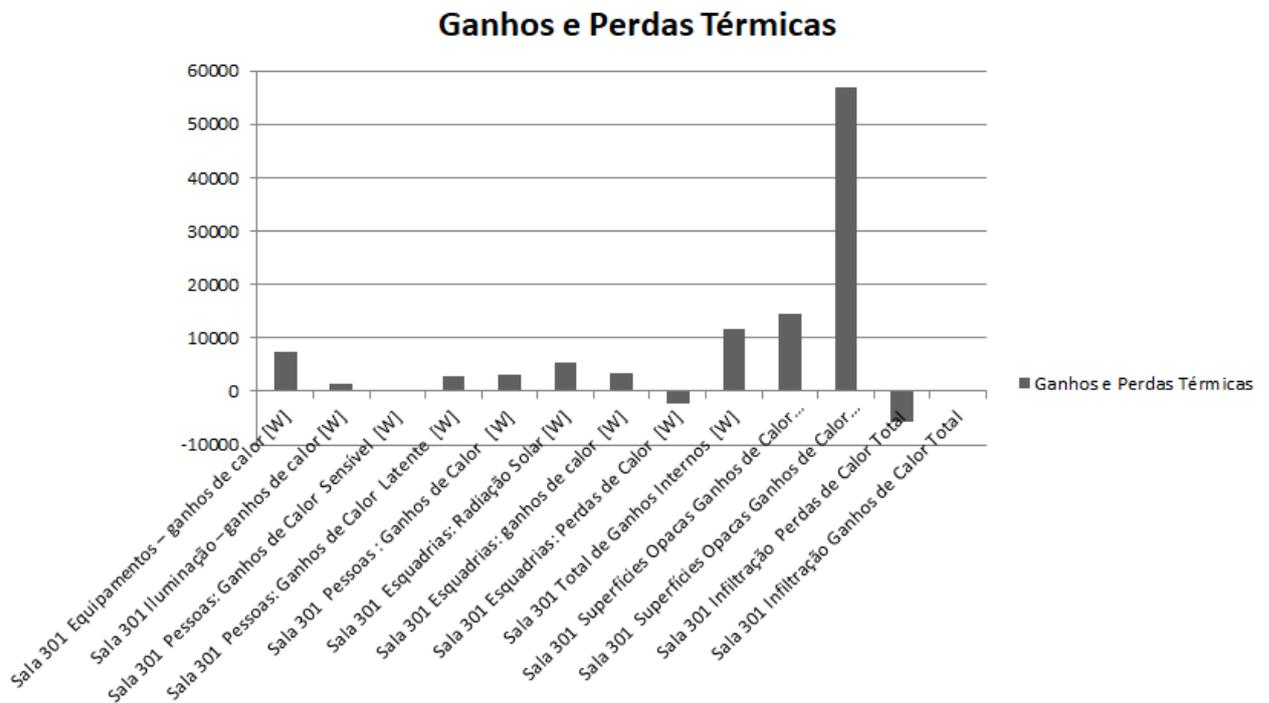


Fonte: Elaborado pela autora, 2018

As Figuras 43 e 44 apresentam os fluxos térmicos com ganhos e perdas térmicas ocorridas na sala devido a equipamentos, pessoas, superfícies opacas, esquadrias e infiltração.

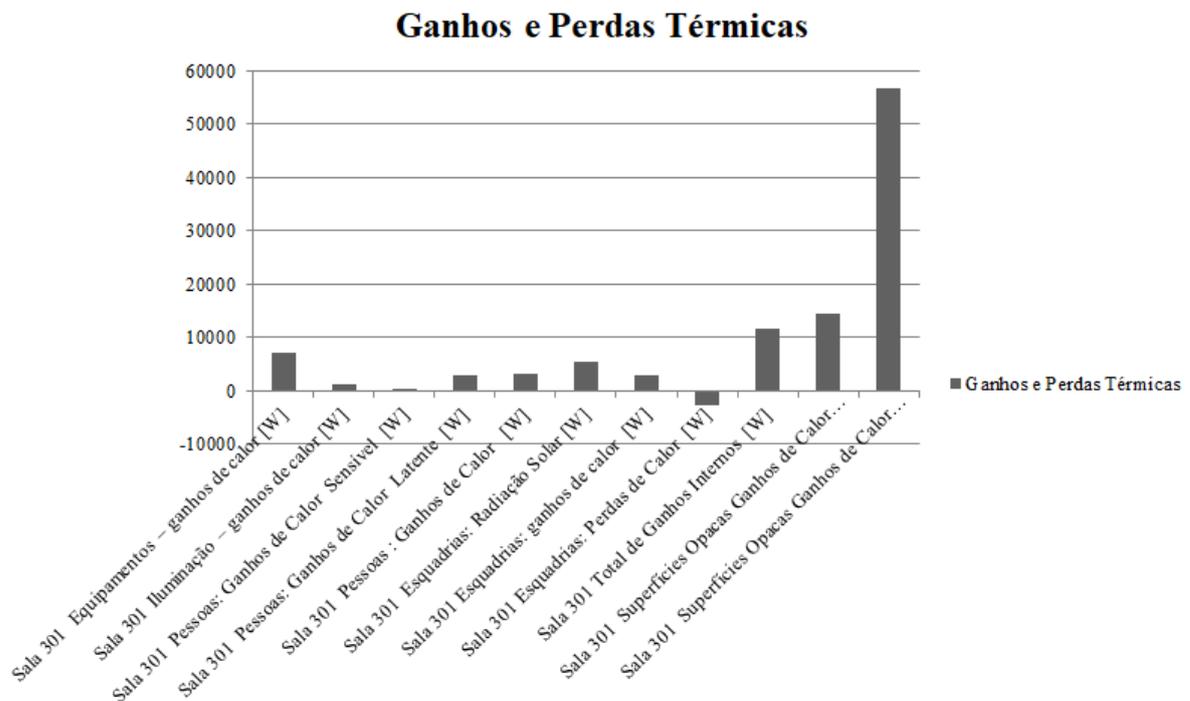
Observando a Figura 43 verifica-se que os maiores ganhos de calor ocorrem pelas superfícies opacas e principalmente pela cobertura, com valores de 14392,7 W e 56834,4W, respectivamente, demonstrando que os ganhos pela cobertura representam 80% dos ganhos totais por superfícies opacas. Na Figura 44 os resultados são similares aos anteriores.

Figura 43 – Fluxos Térmicos na sala 301, sem condicionamento artificial e com infiltração de 1 Ren/h



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 44 – Fluxos Térmicos na sala 301, sem condicionamento artificial e sem infiltração.



Fonte: Elaborado pela autora

Avaliando os fluxos térmicos da sala 301 da edificação em situação crítica para o período de verão, com ganhos maiores de calor pela cobertura e pela fachada oeste foram propostas modificações para reduções desses ganhos e o consumo de energia.

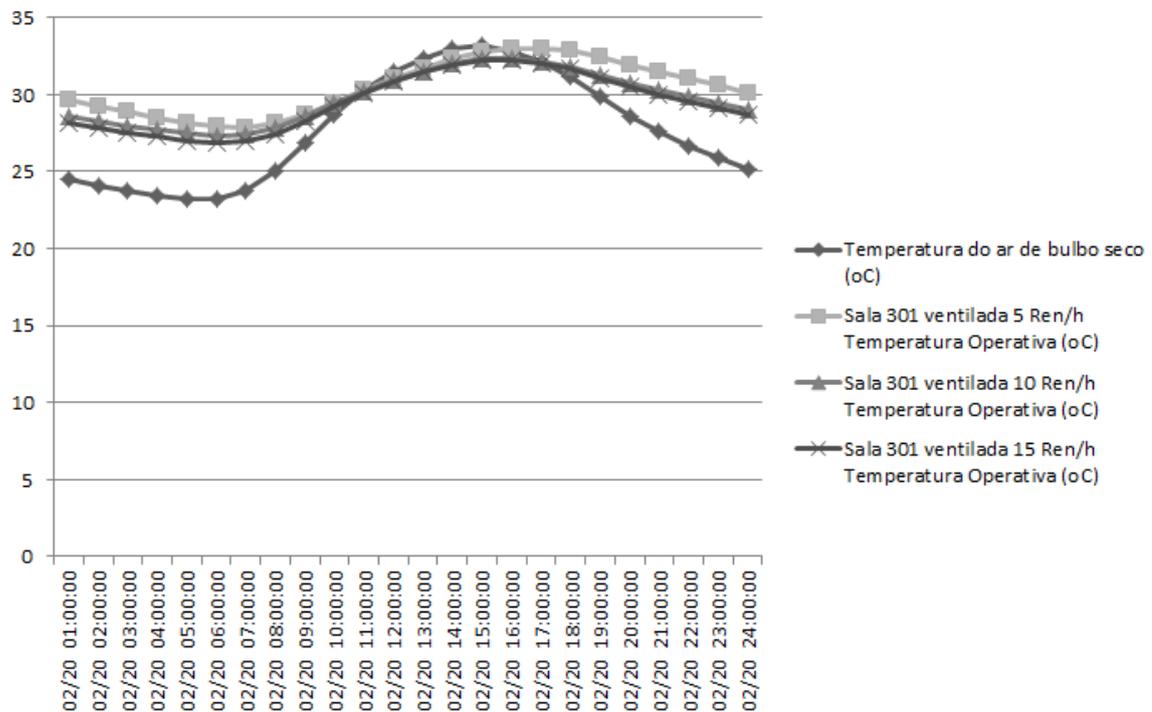
4.2.3 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301 com ventilação interna 5, 10 e 15 renovações de ar por hora e emprego de isolamento térmico na cobertura

Foram propostas alterações na transmitância da cobertura e aumento da ventilação interna embasados no trabalho desenvolvido por Tabarelli (2017), que informa que torna-se importante o emprego do isolamento térmico nas coberturas, que apresentam absorvância de radiação solar elevada ($\alpha = 0,85$), como desta edificação e além disso, a mesma autora conclui que “as composições de cobertura com melhor comportamento térmico durante o verão foram as que possuíam absorvâncias solares baixas e altas renovações de ar na cobertura” (TABARELLI, 2017, p. 173).

Embasados no trabalho da autora, foram propostas as seguintes alterações, redução da absorvância solar da cobertura com emprego de lã de vidro ($U = 0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$), bem como emprego de 5 Ren/h, 10 Ren/h e 15 Ren/h, conforme será descrito a seguir.

A Figura 45 apresenta o dia típico de verão, dia 20 de fevereiro, para a sala 301 ventilada com 5, 10 e 15 renovações de ar por hora, empregando a lã de vidro na cobertura para isolamento térmico, modificando a transmitância inicial da cobertura de $2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ para $0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Figura 45 – Dia Típico de verão para a sala 301 ventilada com 5, 10 e 15 Ren/h e isolamento térmico na cobertura.

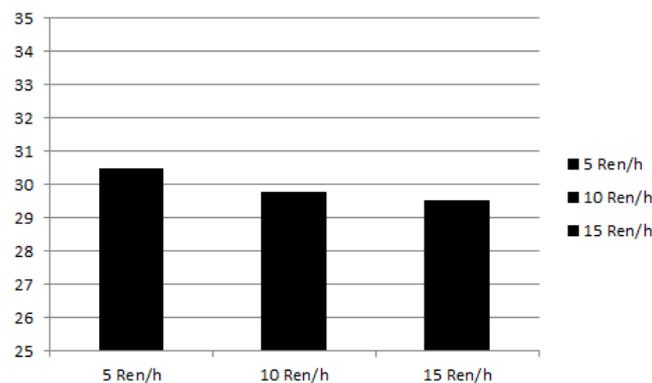


Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Com relação a Figura 45, verifica-se que as temperaturas internas estão próximas, mesmo empregando os diferentes valores para ventilação.

A Figura 46 demonstra a temperatura média no dia típico, mantendo a mesma transmitância e variando somente a ventilação empregada. Os resultados demonstraram que a maior redução ocorre quando do emprego da ventilação de 15 Ren/h.

Figura 46 – Temperatura média na sala 301, mantendo a mesma transmitância e variando a ventilação.

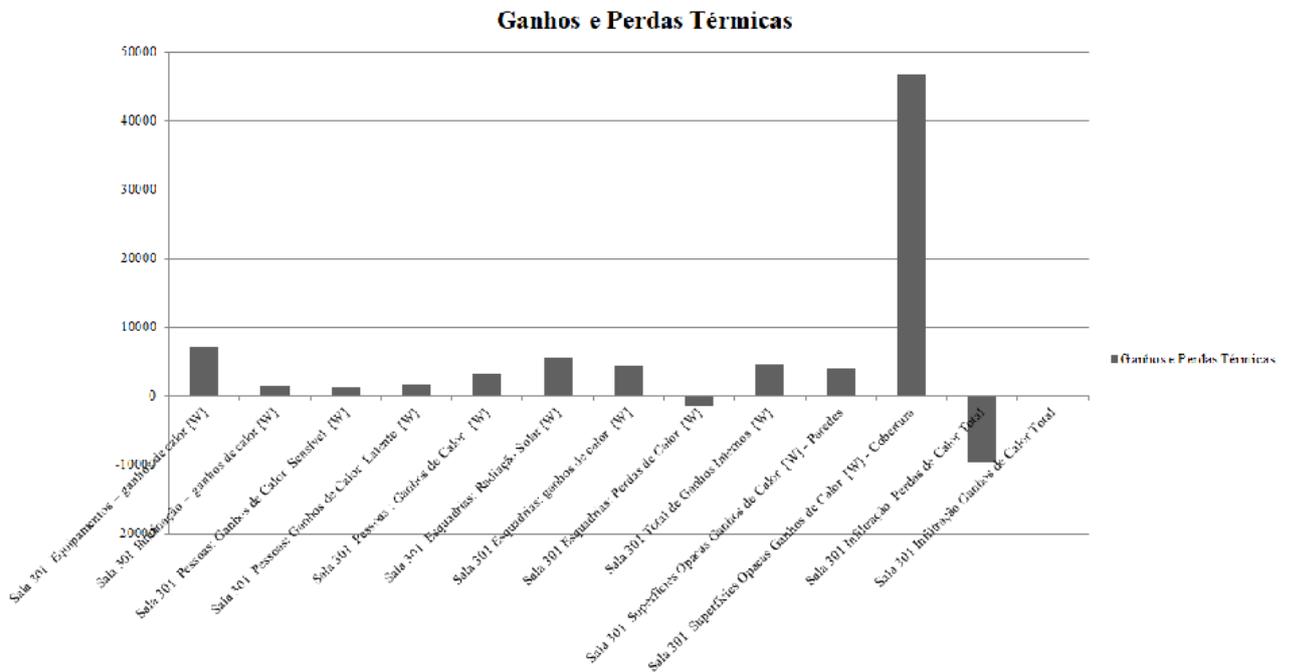


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

As Figuras 47, 48 e 49 apresentam os fluxos térmicos da sala 301 ventilada com 5, 10 e 15 renovações de ar por hora, respectivamente.

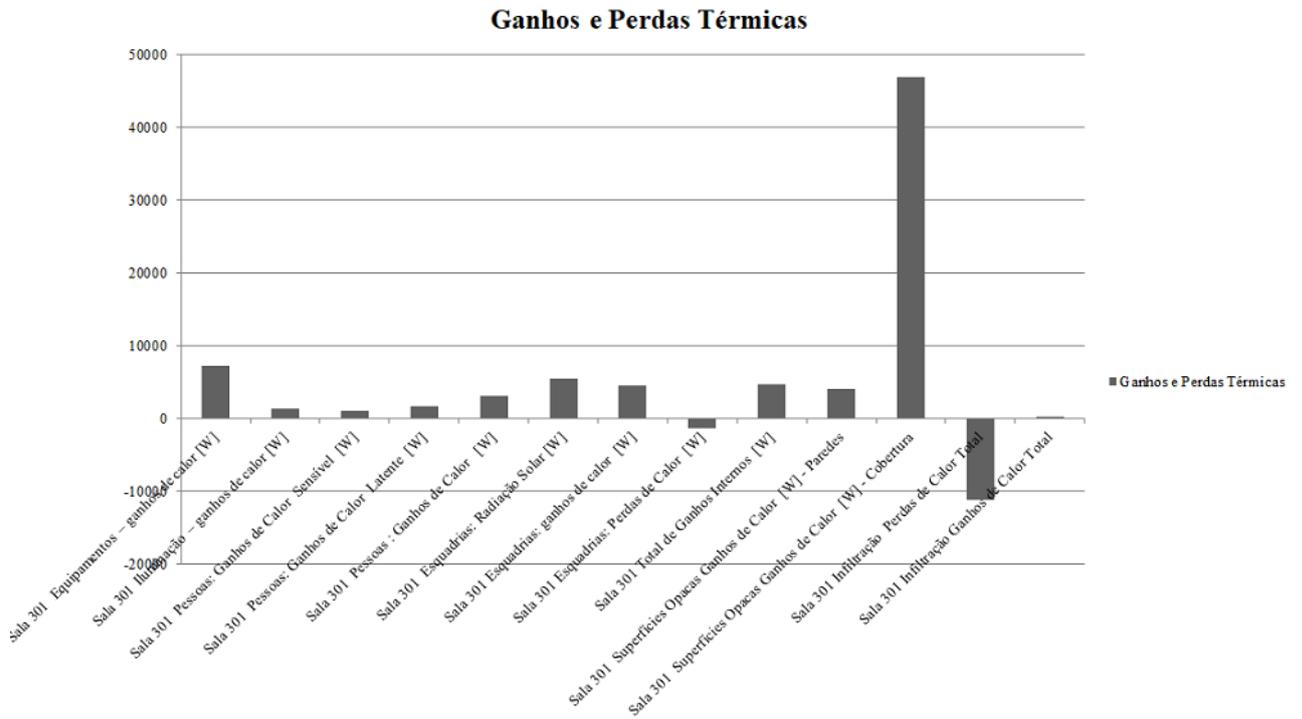
Observando os resultados, verifica-se que com qualquer ventilação, os maiores ganhos térmicos, próximos a 50 KW, ocorrem sempre pela cobertura, devido principalmente a elevada absorção solar do fechamento opaco da cobertura e demonstrando que modificações devem ser propostas visando reduzir a transmitância térmica e absorção desse elemento.

Figura 47 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 5 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura



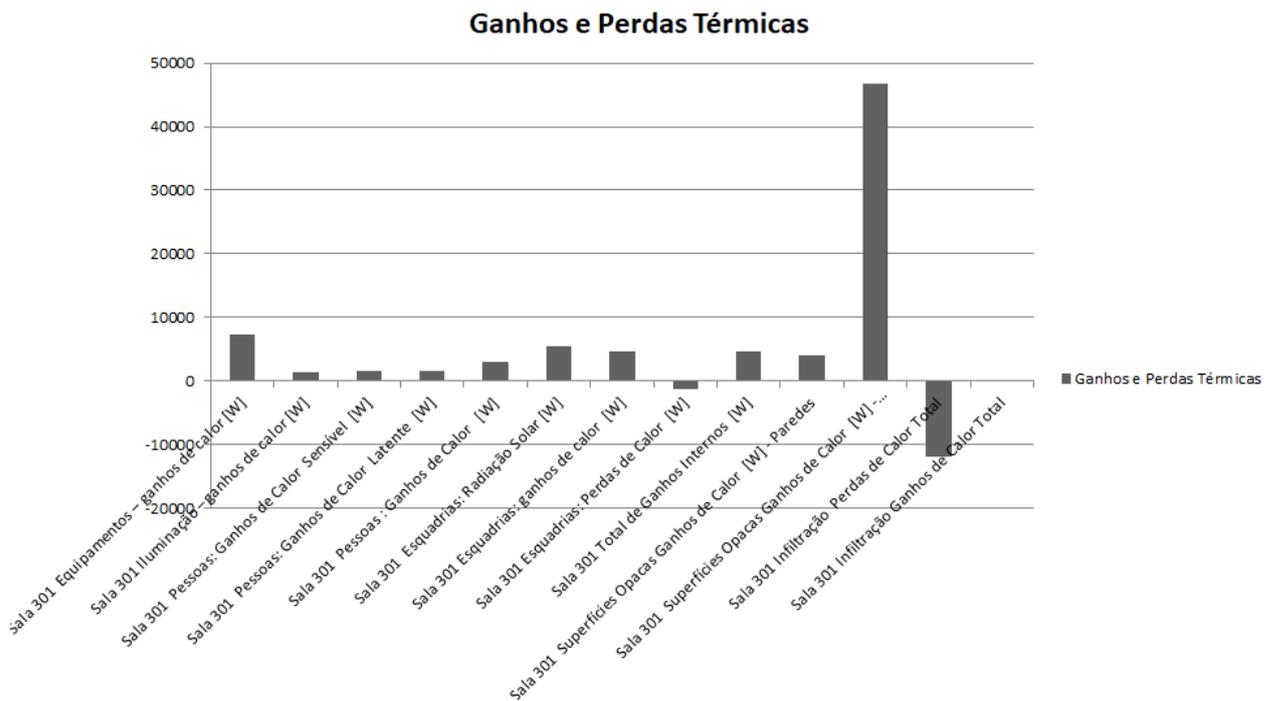
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 48 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 10 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

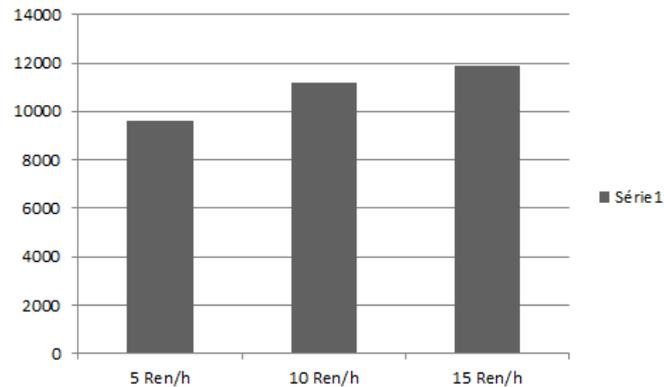
Figura 49 – Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 15 renovações de ar por hora e isolamento térmico na cobertura



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Observando-se a Figura 50, verifica-se que, em média nos meses de verão, mantendo-se a mesma transmitância, houve perdas de - 9603,8 W, - 10180,8 W, - 11888,45 W, para 5 Ren/h, 10 Ren/h, 15 Ren/h, respectivamente, o que demonstra a maior eficiência do emprego de 15 Ren/h, o mesmo resultado que foi determinado no trabalho de Tabarelli (2017).

Figura 50 – Valores de perdas em função da ventilação (W)



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

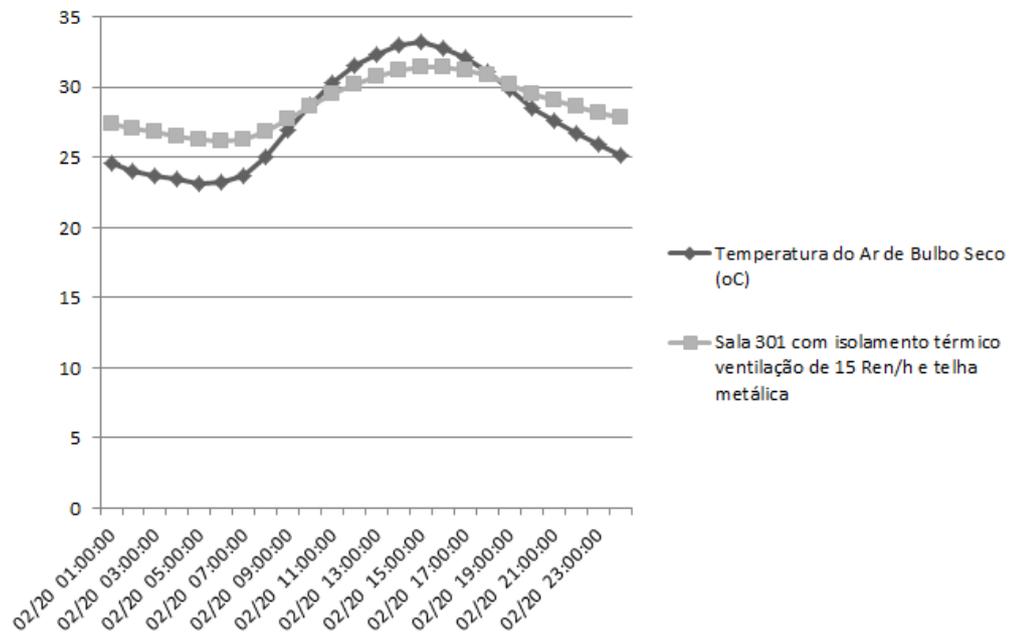
Após análise dos resultados e observando os ganhos pela cobertura, foi proposta a alteração da superfície opaca de cobertura, empregando para tanto telhas metálicas, com absorvância de 0,15, em substituição as telhas de fibrocimento, com absorvância de 0,85 e que será visto no próximo item.

4.2.4 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica com isolamento térmico

Outra simulação realizada foi à troca da superfície opaca de cobertura, utilizando para tanto telha metálica de alumínio com absorvância de 0,15, em substituição a telha de fibrocimento empregada na cobertura da edificação, com valor de absorvância de 0,85.

A Figura 51 apresenta os resultados, para o dia típico de verão, com temperatura de bulbo seco, temperatura operativa da sala 301 ventilada com 15 renovações de ar por hora com o telhado metálico ($U = 0,625 \text{ W/m}^2\text{K}$).

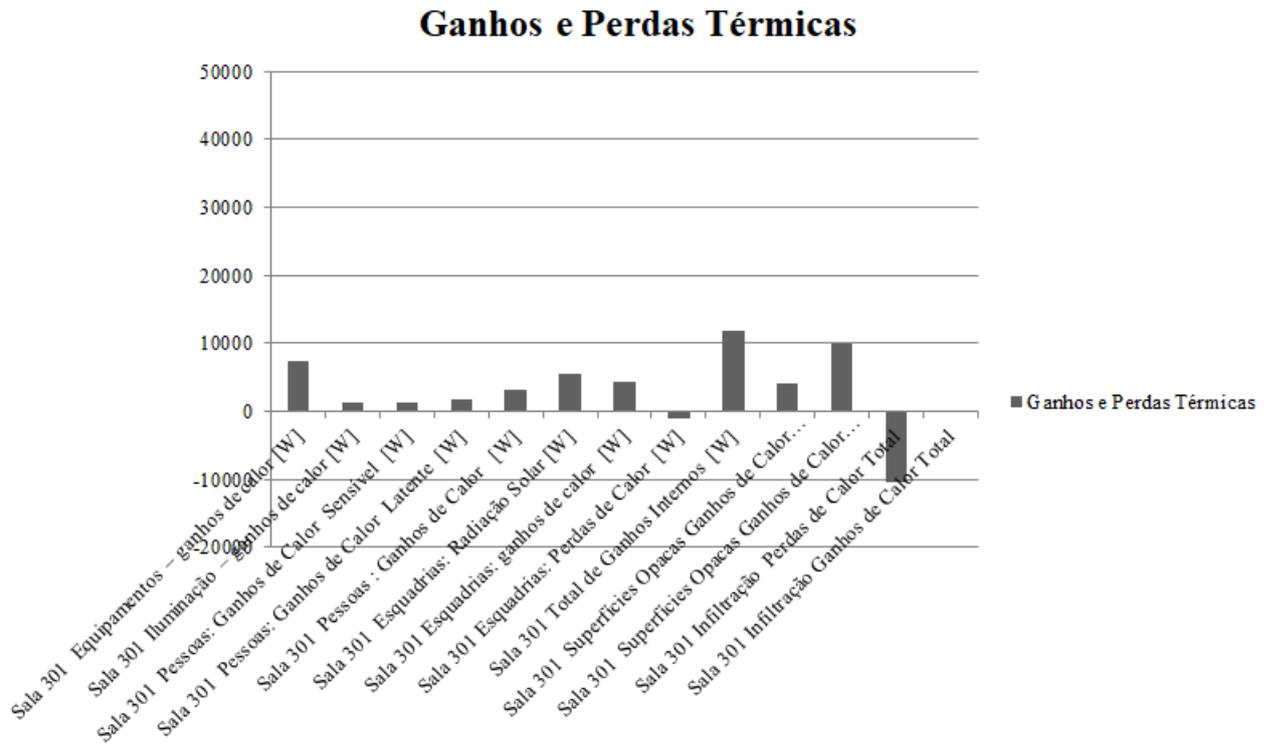
Figura 51 – Comparativo do Dia típico de Verão para sala 301 condicionada artificialmente, ventilada com 15 renovações de ar por hora e com a troca para telhado metálico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A Figura 52 apresenta os ganhos e perdas térmicas na sala 301 ventilada com 15 Ren/h, com isolamento térmico na cobertura e emprego de telhado metálico ($U = 0,625 \text{ W/m}^2\text{K}$). Comparando os resultados encontrados com os da Figura 51, verifica-se a redução dos ganhos pela superfície opaca da cobertura, reduzindo de 40 KW para 10 KW.

Figura 52 - Fluxo Térmico Sala 301 com isolamento térmico na cobertura, ventilação de 15 Ren/h e cobertura com telha metálica.

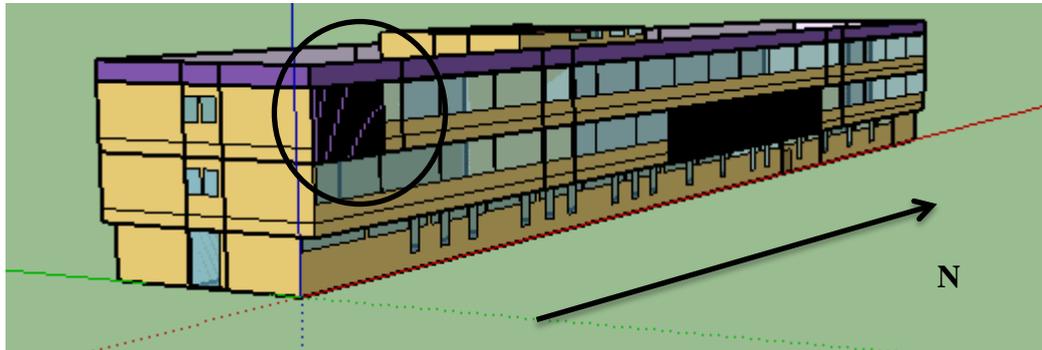


Fonte: Elaborado pela autora, 2018

4.2.5 Avaliação da temperatura interna, fluxos térmicos e avaliação de desempenho na sala 301, com emprego de ventilação interna de 15 renovações de ar por hora e emprego de cobertura metálica e proteção solar na fachada Oeste

Devido aos elevados ganhos de calor apresentados pela superfície opaca de fechamento voltada para oeste, outra simulação realizada empregou proteção solar na fachada oeste da referida sala avaliada para o período de verão. A Figura 53 apresenta a maquete eletrônica com a proteção solar.

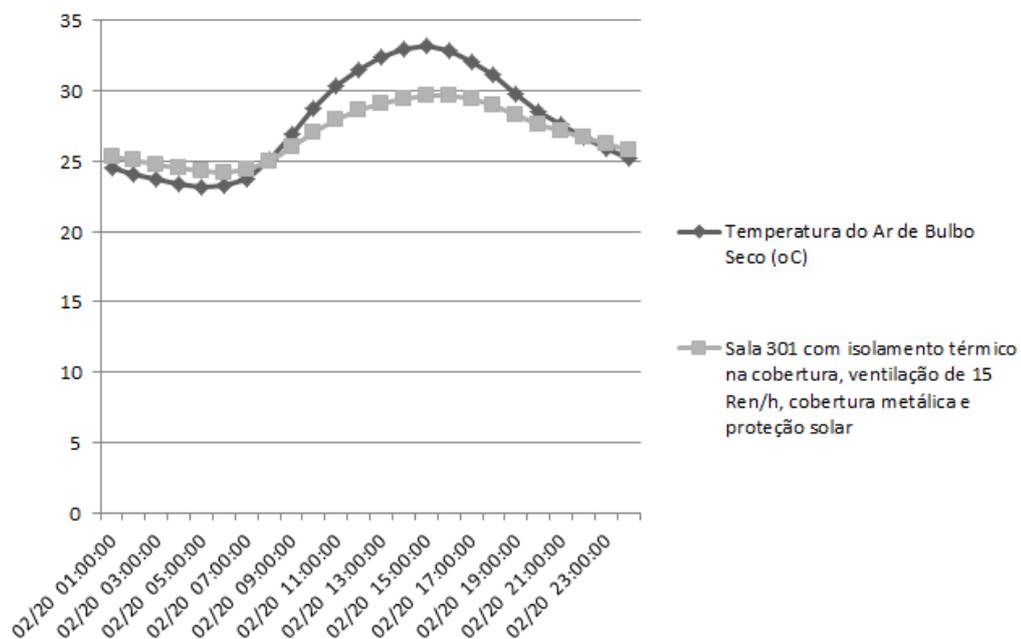
Figura 53 – Maquete eletrônica do Centro de Tecnologia com a sala 301 com emprego de proteção solar na fachada oeste.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A Figura 54 apresenta o dia típico de verão para a sala 301 ventilada com 15 renovações de ar por hora, emprego de isolamento térmico, cobertura metálica e emprego de proteção solar.

Figura 54 – Dia Típico de verão na sala 301 ventilada com 15 renovações de ar por hora, isolamento térmico na cobertura, cobertura metálica e emprego de proteção solar.

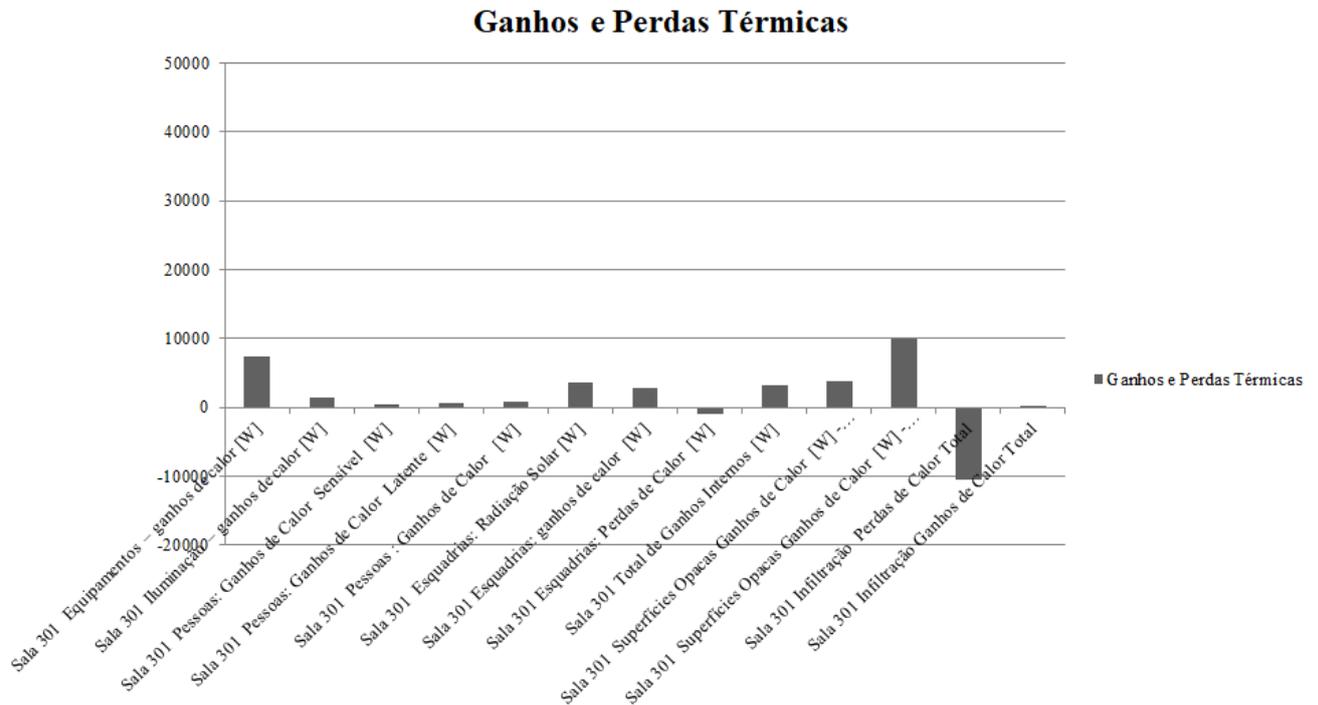


Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 55 apresenta os Fluxos Térmicos na sala 301 ventilada com 15 renovações de ar por hora, isolamento térmico, cobertura metálica e proteção solar na fachada oeste. Os

resultados demonstram que comparativamente a Figura 49 onde não há proteção solar, os valores foram reduzidos.

Figura 55 - Fluxo Térmico da sala 301 ventilada 15 renovações de ar por hora, isolamento térmico, cobertura metálica e proteção solar na fachada oeste



Fonte: Elaborado pela autora, 2018

4.2.5.1 Atendimento ao critério de desempenho da norma NBR 15575 com emprego de proteção solar na sala 301

Neste item foi avaliado o desempenho térmico da sala em estudo. O Quadro 15 apresenta o dia típico de verão para a sala 301 com ventilação de 15 Ren/h, emprego de isolamento térmico, cobertura metálica e proteção solar. Verifica-se que a sala atende ao nível intermediário da norma e que por 0,5°C, seria atingido o nível superior.

Quadro 15 - Atendimento da Sala 301 a NBR 15575 (2013), empregando ventilação com 15 Ren/h e proteção solar

Temperatura Externa Máxima	Desempenho Mínimo (Textmáx)	Desempenho Intermediário (Textmáx - 2°C)	Desempenho Superior (Textmáx - 4°C)	Temperatura Operativa Sala 301 atual	Temperatura Operativa Sala 301 após modificações
33,2°C	33,2 °C	31,2°C	29,2°C	34,3 °C	29,7 °C

Fonte: Elaborado pela autora

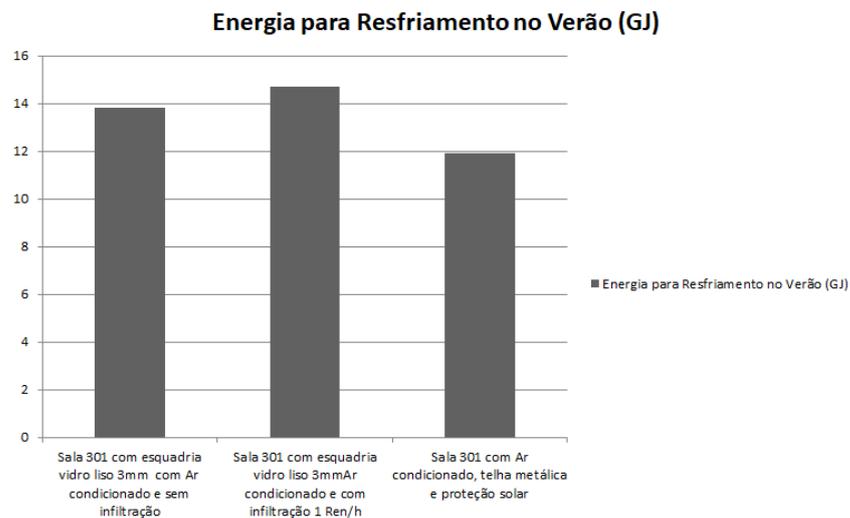
Portanto, após todas as análises, a melhor solução a ser adotada para o período de verão seria colocação de isolamento térmico (lã de vidro) na cobertura reduzindo o valor da transmitância de $2,02 \text{ W/m}^2\text{K}$ para $0,621 \text{ W/m}^2\text{K}$. Além disso, a ventilação mais efetiva foi a de 15 Ren/h, corroborando o trabalho de Tabarelli (2017).

Com a substituição da superfície opaca de cobertura para metálica, houve uma redução da transmitância para $0,625 \text{ W/m}^2\text{K}$, com aumento da resistência térmica.

Para melhoria do desempenho interno, empregou-se proteção solar a fachada oeste, atingindo o desempenho intermediário da norma NBR 15575 (2013).

Para determinação da efetividade desta proposta passiva na climatização da sala, novamente houve o condicionamento artificial e foi determinado o seu consumo energético, que é apresentado na Figura 56. Os resultados demonstraram que na sala 301 houve uma redução em da energia de 20%.

Figura 56 – Energia dispendida para Resfriamento da Sala 301 no período de verão na situação atual e com isolamento térmico, cobertura metálica, ventilação de 15 Ren/h e proteção solar.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

5 CONCLUSÃO

Neste século, a responsabilidade ambiental deve ser enfocada com grande ênfase. Os profissionais cada vez mais devem empregar o desenvolvimento sustentável como ponto primordial em todas as suas ações. É necessário que empresários, empreendedores, arquitetos e engenheiros introduzam em suas empresas os princípios da responsabilidade ambiental com relação ao ambiente construído.

Uma das questões que apresentam maior ênfase é a da eficiência energética e a redução do consumo de energia deve ser um dos pontos a serem enfocados por toda a sociedade, desde o setor privado, até o setor público, que consome 8% da energia do país e propostas para reduzir o gasto de energia devem ser avaliadas.

Prédios construídos há mais de 50 anos não tinham como prioridade a sustentabilidade ambiental e nem as questões energéticas e, portanto, fazem-se necessárias propostas mais sustentáveis para estas edificações, sendo necessária avaliá-las antes de seu emprego efetivo. Com o advento da informática e com os programas de simulação computacional, estas avaliações ocorrem com menor tempo e baixo custo, permitindo diferentes análises num pequeno intervalo de tempo.

A proposta deste trabalho era avaliar estratégias passivas para melhoria do desempenho das salas de aula do Centro de Tecnologia da UFSM e para tanto foi empregado o programa de simulação computacional *EnergyPlus*. Foram analisadas as duas salas nas condições mais críticas, tanto para o verão, quanto para o inverno. De todas as soluções propostas para o período de inverno para a sala 236, a melhor proposta foi o emprego de esquadria de vidro duplo (vidro liso 3mm + Ar+ vidro liso 3mm), com transmitância térmica de 2,731 W/m²K, sem infiltração de ar, e esta solução apresenta redução do consumo de energia e atende o nível superior da norma de desempenho NBR 15575 (2013).

Cabe reforçar que a mesma solução poderá ser empregada em outras salas de aula, para a mesma condição, o que poderá propiciar uma redução efetiva no consumo de energia da edificação e melhorando o desempenho da edificação para o período de inverno.

A outra sala de aula estudada, na condição mais crítica para verão, foi a sala 301. Várias soluções foram apresentadas e aquela que apresentou melhor resultado foi o emprego de ventilação de 15 renovações de ar por hora, emprego de lâ de vidro como isolamento térmico na cobertura, emprego de proteção solar e cobertura com telhas metálicas, com transmitância térmica de 0,625 W/m²K, o qual reduz a temperatura interna e os ganhos térmicos pelas paredes e pela cobertura. Com relação ao critério de desempenho, a mesma

atende ao nível intermediário da norma NBR 15575 (2013) e que reduz o consumo de energia em 20%, após as alterações.

Cabe salientar, que na sala 301 foi avaliado somente o período de verão e que a ventilação utilizada deverá ser evitada no período de inverno. Assim como na sala 236, a proposta de solução para a sala 301 poderia ser aplicada a outras salas do Centro de Tecnologia.

Assim, este trabalho apresentou algumas propostas de soluções passivas para as salas de aula do prédio do Centro de Tecnologia da UFSM e outras soluções poderão ser avaliadas. Sugere-se que novos trabalhos sejam desenvolvidos, tais como emprego de telhado verde e que se empregue a avaliação do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos), após a avaliação por simulação nas novas alterações propostas, verificando a certificação a ser obtida pela edificação após alterações.

A mesma proposta poderá ser desenvolvida para outros prédios da UFSM, o que proporcionaria uma redução efetiva do consumo de energia de toda Universidade, quando da execução das melhores soluções encontradas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 08492:** Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992c. 8p

_____. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

_____. **NBR 15220-1:** Desempenho térmico de edificações: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. Parte 1.

_____. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c. Parte 2.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d. Parte 3.

_____. **NBR 15575:** Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais: desempenho. Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. Parte 1.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais: desempenho. Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c. Parte 4.

_____. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais: desempenho. Parte 5: requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro: ABNT, 2013d. Parte 5.

_____. **NBR 16401:** Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e unitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016. http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/chamada-de-projeto-de-p-d-visa-atrair-acoes-de-eficiencia-energetica-nas-instituicoes-publicas-de-ensino-superior/656877?inheritRedirect=false Acesso em 20 de jun de 2017.

ANTUNES, N. D. F. **Edifícios Verdes** Práticas Projectuais orientadas para a Sustentabilidade. 2010. 148 p. Dissertação (Mestrado Integrado de Engenharia Civil) - Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2015. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf> Acesso em 15 de Ago de 2017.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016. <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf> Acesso em 15 de Ago de 2017.

BAPTISTA, M. N.; CAMPOS, D. de. **Metodologias Pesquisa em Ciências - Análise Quantitativa e Qualitativa**, 2. ed. LTC, 2016.

BARROS, A. J. da S.; LEHFELD, N. A. de S. **Fundamentos de metodologia: um guia para a iniciação científica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1987, 430 p.

BUORO, A. A. VOSGUERITCHIAN, A. B. BENEDETTO, G. S. D. VITTORINO, F. **Análise comparativa na Simulação de Modelo Habitacional nos Softwares Energy Plus e TAS**. XI Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, p. 113- 122.

CALAZANS, C. J. **Análise da ABNT 15575:2013 com ênfase em Desempenho Térmico**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído. 2016. 48 p.

CÂMARA BRASILEIRA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS. GUIA ORIENTATIVO PARA ATENDIMENTO DA NORMA ABNT NBR 15575/2013. 2013. 311p. http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf Acesso em 10 de Mar de 2017.

CAMARGO, M. **Análise do desempenho de dutos enterrados para arrefecimento de uma habitação na zona bioclimática 2**. 2017. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

CAROTENUTO, A. R. S. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de elevada Inércia Térmica**. 2009. 251 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

CASAGRANDE JR., E. F. AGUDELO, L. P. P. **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. 1º. ed. Curitiba: Livro Técnico, 2012.

CBCS. **Boletim Informativo do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**. 2014. P. 12 – 14.

CIB **Agenda 21 para construção sustentável**. São Paulo, 2000. 131 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **CONSTRUÇÃO VERDE: DESENVOLVIMENTO COM SUSTENTABILIDADE**, 2012, Brasília, 73 p.

CÔRREA, L.R. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 70 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

CORTESE, T. T. P. et al. Sustentabilidade nas construções: a necessidade de discussão deste novo paradigma. In: CORTESE, T. T. et al. (Org.). **Cidades Inteligentes e Sustentáveis**. 1ed. Barueri. Manole. 2017.v. 1, p. 101-113.

COUTO, A. S. **Simulação Computacional do Impacto de Soluções Arquitetônicas no Desempenho Térmico de Edificações**. 2013. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais. 2013.

CRAWLEY, D. B., LAWRIE, L. K., WINKELMANN, F. C., BUHL, W. F., HUANG, Y. J., PEDERSEN, C. O., GLAZER, J. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**, v. 33, n.4. 2001. p. 319-331.

CUNHA, J. Folha de São Paulo, 2015. <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/02/1586778-desperdicio-consome-10-da-energia-eletrica-no-pais-diz-associacao.shtml> Acesso em 08 de Ago de 2017.

CUNHA, E. G. da. **Simulação de Eficiência Energética**. Ar condicionado. 2017. 28 diapositivo, color

DAMASCENO, S. M. N. Editorial. **Revista Eficiência Energética**, v.1, n.1, 2013, p. 5.

DANTAS, C. BARBIRATO, G. Avaliação do Desempenho Térmico e Conforto Térmico dos Usuários em Empreendimentos Residenciais Horizontais do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió – Al. **15º. ErgoDesign USIHC**. 2015. <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/15ergodesign/70-E037.pdf> Acesso em 20 de Out de 2017.

DINAMARCO, C. P. G. **Selo Casa Azul Certificação Ambiental: Estudo de Caso**. 2016.165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ELETROBRAS. **Regulamento para concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações**, 2015. 18 p.

FREITAS, C. M. SILVA, M. A. MENEZES, F.C. O desastre na barragem de mineração da Samarco – fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, vol. 68, no. 3, São Paulo, 2016, p. 25-30.

FREITAS, J. M. R. et al. Análise da influência das pontes térmicas na simulação de eficiência energética nas paredes de edificações residenciais. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 5, no. 2 2016, p. 24-41.

FREITAS, W. R. S. JABBOUR, C. J. C. Utilizando Estudos de Caso(s) como Estratégia de Pesquisa Qualitativa: Boas Práticas e Sugestões. **Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, p. 7-22, 2011.

FROTA, A. B. SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 8º. Ed. São Paulo: Editora Studio Nobel. 2007. 243 p.

GALLARDO, A. L. C. F. RAMOS, H. R. KNISS, C. T. AGUIAR, A. Oferta de Energia para as Cidades. In: CORTESE, T. T. et al. (Org.). **Cidades Inteligentes e Sustentáveis**. 1ed. Barueri. Manole. 2017.v. 1, p. 63-82.

GARLET, L. **Otimização do Comportamento Térmico de Edificações Industriais: Estudo de Caso em Indústria Metalomecânica na zona Bioclimática Brasileira 2.** 2017. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento.** 2003. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, 2003.

GIGLIO, T. G. F. Avaliação do Desempenho Térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina- PR. 2005. 170 p Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, 2005.

GODOY, J. **Os sistemas de certificação e as ferramentas práticas.** Apresentação em Power Point da disciplina Princípios da Sustentabilidade aplicados ao Ambiente Construído. 2016.

GOMES, A. P. **Método de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios Comerciais e Residenciais em Light Steel Framing.** 2012. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. 2012.

IBGE, 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** <https://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em 10 de Mai de 2017

JOHN, V. M. PRADO, R. T. A. **Selo Azul.** Boas Práticas para Habitação mais sustentável. 1º. Ed. São Paulo. Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010

JOHN, V. M. SILVA, V. G. AGOPYAN, V. Agenda 21: Uma proposta para discussão para o construíbusiness Brasileiro. **ANTAC Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis.** Canela 2001. https://notedi1.files.wordpress.com/2010/03/aula-01-doc_agenda-21-ccivil-evento-antac.pdf Acesso em 10 de Abr. de 2017.

JORGE, L. F. A. **Determinação do coeficiente de transmissão térmica em paredes de edifícios.** 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade da Beira Interior. 2011.

KLUSENER, C. S. **Aplicação do regulamento para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios: o caso do Centro de Tecnologia da UFSM.** 2009. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2009.

KNOP, S. CUNHA. E. G. da. Análise comparativa do Desempenho Térmico de Edificação Histórica com base em Simulação Computacional: Casarão 02, Pelotas, RS. **9º.Seminário Internacional NUTAU Brics e a habitação Coletiva Sustentável.** 2012. http://www.usp.br/nutau/nutau_2012/trabalhos.html Acesso em 10 de Mai de 2017

LAMBERTS, R. DUTRA, L. PEREIRA, F. O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo. Editora PW. 1997. 192 p.

LAMBERTS, R. DUTRA, L. PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3º. Ed. Editora: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. 382 p.

LEI Nº. 9.991, 2000. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm Acesso em 10 de Ago de 2017.

LEI Nº. 10.295, 2001. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm Acesso em 10 de Ago de 2017.

LEITE, V. F. **Certificação Ambiental na Construção Civil – Sistemas Leed e AQUA. 2011.** 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.

LIMA, A. L. G. PONTES, J. P. O. Arquitetura moderna para uma escola higiênica: um estudo a partir de manuais de higiene escolar. O Moderno já Passado, o Passado no Moderno. Reciclagem, Requalificação, Rearquitetura. Anais do **7o. Seminário DOCOMOMO Brasil**. Porto Alegre, 2007, P. 1-14. [.http://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2016/01/050-1.pdf](http://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2016/01/050-1.pdf) Acesso em 27 de Abr. de 2018.

MARQUES, M. C. S. HADDAD, J. GUARDIA, E. C. **Eficiência Energética Teoria e Prática.** 1º. Ed. Itajubá, MG FUPAI, 2007. 244 p.

MARTINS, M. S. Simulação Computacional para Análise do Desempenho Térmico de uma HIS. **9º.Seminário Internacional NUTAU Brics e a habitação Coletiva Sustentável.** 2012. http://www.usp.br/nutau/nutau_2012/trabalhos.html Acesso em 15 de Ago de 2017

MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis utilizando a Ventilação Natural.** 2007. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade de Londrina, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Brasília: MME/EPE, 2010. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2019.** http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256592/PDE2019_03Maio2010.pdf/d6bf6183-c8ff-440d-a8e2-2b50ae6c5d15. Acesso em 20 de julho de 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. Acesso em 10 de Mar de 2016.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e Processos de Projetos de Edificações. Sustainable and Design Building Processes. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 84-119, mai. 2009.

NASCIMENTO, L. B. P. do. **Influência de variáveis construtivas e de uso de equipamentos e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritórios localizados em Londrina-PR.** 2009. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade de Londrina, 2009.

OLIVEIRA, A. R. C. S. **Avaliação da Incerteza na Determinação dos Índices de Conforto Térmico PMV e PPD.** 2008. 48 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra. 2008.

OLIVEIRA, V. M de. **Sistemas de Certificação Ambiental e a Norma Brasileira de Desempenho**. 2014. 220 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) –Universidade Federal de Juiz de Fora. 2014.

PAULSE, P. C. **Análise do Desempenho Termoenergético de Escolas Públicas segunda aplicação do RTQ-C para a Envoltória**. 2016. 129 p. Dissertação (Mestrado em Projeto e Cidade) – Universidade Federal de Goiás. 2016.

PEREIRA, L. M. **Avaliação das patologias e da biodeterioração na Biblioteca Central da UFSM**. 2012. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2012.

PINHEIRO, M. D. **Ambiente e Construção Sustentável**. 1 ed. Lisboa: Instituto do Ambiente. 2006. 243 p.

PNEf - **Plano Nacional de Eficiência Energética, Ministério das Minas e Energia**, 2016.
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%A4ncia+Energi%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>
 Acesso em 10 de Ago de 2017.

PROCEL INFO. **Selo Procel**. 2006a.
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D> Acesso em 15 de Jun de 2016.

PROCEL INFO. **Selo Procel Edifica – Eficiência Energética nas Edificações** . 2006b.
<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm> Acesso em 15 de Jun de 2016

QUEIROZ, G. R. **Análise da Interoperabilidade entre os Programas Computacionais Autodesk Revit e EnergyPlus para Simulação Térmica de Edificações**. 2016. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2016.

RODRIGUES, M. V. de P. **Avaliação da Eficiência Energética de Edificações Residenciais em Fase de Projeto: Análise do Desempenho Térmico pelo Método Prescritivo e por Simulação Computacional aplicados a Estudo de Caso de Projeto-Tipo do Exército Brasileiro**. 2015. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Campinas. 2015.

RTQ-C. **Regulamento Técnicos da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2013.
http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf Acesso em 12 de janeiro de 2017.

RTQ-R. **Regulamento Técnicos da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2014.
http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_RTQR_102014.pdf Acesso em 12 de Jan de 2017.

SANTOS, J. C. P. DOS, KOTHE, K.K. MOHAMAD, G. VAGHETTI, M. A. O., RIZZATTI, E. Comportamento Térmico de Fechamentos em Alvenaria Estrutural para a Zona Bioclimática 2 Brasileira. **Revista Matéria**, v. 20, n. 4, 2015. p. 1030-1047.

SILVA, V. G. Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para o desenvolvimento no Brasil. **Revista Ambiente Construído (Online)**, v.7, p.47-66, 2007.

SILVA, W. M. FERREIRA, R. C. SOUZA, L. O. SILVA, A. M. Efeito da incorporação de resíduos agroindustriais nas características mecânicas e termofísicas de tijolos modulares de solo-cimento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n°. 14, 2009. p. 9-14.

SOLA, A. V. H. XAVIER, A. A. DE P. KOVALESKI, J. L. RESENDE, L. M. Análise dos Fatores determinantes para Eficiência Energética. **Revista Produção**, v. 6, n. 1, UFSC. 2006, p. 3-26.

STEFANUTO, A. P. O. HENKES, J. A. Critérios para Obtenção da Certificação LEED: Um estudo de Caso no Supermercado Pão de Açúcar em Indaiatuba/SP. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 282-332, out. 2012, Març. 2013.

TABARELLI, G. **Influência do sistema de cobertura no comportamento térmico de edificações multifamiliares na zona bioclimática brasileira 2**. 2017. 201 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2017.

UCHOA, G. MACÊDO, L. BARTZ, C. A Avaliação da Construção Sustentável no Brasil – Métodos. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. XV, 2014, Maceió, **Anais ...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 724-733.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento Sustentável, desafio para o século XXI**. Ed. Garamound, 2005, 200p.

VELOSO, A. C. de O. **Análise comparativa do Desempenho dos Programas Domus e Energy Plus**. 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.

VIEIRA, R. K, DURANTE, L. C. NOGUEIRA, M. C. J. A. PERES, M. B. APOLÔNIO, R. M. CALLEJAS, I. J. A. Desempenho Térmico de Coberturas de Telhas de Aço Galvanizadas Autoportantes. **1º. Congresso das Engenharias, Arquitetura e Agronomia do Mato Grosso**, 2010. p. 457-468.

WALLAUER, M. D. **Utilização do Programa Energyplus para simulação do conforto térmico em Edificações Populares em quatro Capitais Brasileiras**. 2003. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.