

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANA PAULA FERMIANO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR NO  
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, POR MEIO DA ABNT NBR 15.575:2013**

**Caxias do Sul**

**2020**

**Ana Paula Fermiano**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR NO  
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, POR MEIO DA ABNT NBR 15.575:2013**

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, ministrado na Universidade de Caxias do Sul.

Orientadora: Prof. Ma. Marta Baltar Alves

**Caxias do Sul**

**2020**

**Ana Paula Fermiano**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR NO  
MUNICÍPIO DE CAXIAS DO SUL, POR MEIO DA ABNT NBR 15.575:2013**

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, ministrado na Universidade de Caxias do Sul.

Orientadora: Prof. Ma. Marta Baltar Alves

Aprovada em 04 de dezembro de 2020.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Ma. Marta Baltar Alves  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Ma. Muriel Scopel Froener  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Me. Givanildo Garlet  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, que não mediram esforços para me ajudar nesta etapa tão importante da minha vida. Sem vocês, nunca teria chegado tão longe.

Ao meu namorado, Guilherme, pelo apoio indescritível, por todos os fins de semana de TCC, a ajuda no *Sketch* e todas as garrafas de chá. Todos os momentos de angústia valeram a pena!

A minha orientadora, prof<sup>a</sup> Marta, obrigada por todo o apoio, dedicação e tempo. Foi enriquecedor este um ano como sua orientanda, e mais do que isso, foi ter você como exemplo de profissional. Obrigada mais uma vez!

Aos meus amigos e demais colegas de curso, que mesmo a distância, tornaram esta jornada mais leve e proveitosa.

E por último, à Lopez & Aguzzoli Engenharia, e ao colégio São Carlos por confiarem no meu trabalho e assim, permitirem que este trabalho fosse realizado.

## RESUMO

O presente trabalho tem como tema a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) quanto aos requisitos de desempenho térmico, sendo o objeto de estudo uma edificação escolar particular localizada em Caxias do Sul/RS. O objetivo foi analisar o desempenho térmico das salas de aula da edificação, utilizando o método de simulação computacional. Visto que o conforto térmico interfere no aproveitamento didático dos alunos, é importante que seja realizado uma avaliação do ambiente escolar, de forma a melhorar as condições térmicas e conseqüentemente, o desempenho escolar dos usuários. Tal estudo foi realizada através do *software EnergyPlus*. Para o estudo de caso, a edificação obteve 91,9% das salas com desempenho superior para o inverno e 100% para o verão, quando considerado o período letivo. Foram propostas algumas sugestões de adequação de projeto, a fim de melhorar este percentual. Realizou-se simulações com brises, manta térmica para o telhado e vidros duplos para as janelas. Comparando todos os resultados, notou-se que os brises não seriam eficazes, devido ao sombreamento das edificações vizinhas ao prédio em estudo. A melhor opção foi a utilização de vidros duplos.

**Palavras-chave:** ABNT NBR 15.575:2013. Norma de desempenho. *EnergyPlus*. Desempenho térmico. Método de simulação.

## ABSTRACT

The present work has as its theme the performance standard NBR 15.575 (ABNT, 2013) regarding thermal performance requirements, the object of study being a private school building located in Caxias do Sul / RS. The objective was to analyze the thermal performance of the building's classrooms, using the computer simulation method. Since thermal comfort interferes with students' didactic use, it is important that an evaluation of the school environment is carried out, in order to improve thermal conditions and, consequently, the school performance of users. This study was carried out using the EnergyPlus software. For the case study, the building obtained 91.9% of the rooms with superior performance for the winter and 100% for the summer, when considering the academic period. Some suggestions for project adequacy have been proposed in order to improve this percentage. Simulations were carried out with brise soleils, thermal blanket for the roof and double glazing for the windows. Comparing all the results, it was noted that the brise soleils would not be effective, due to the shading of the buildings next to the building under study. The best option was the use of double glazing.

**Keywords:** ABNT NBR 15.575:2013. Performance standard. *EnergyPlus*. Thermal performance. Simulation method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trocas entre ambiente e corpo .....	19
Figura 2 - Radiação solar incidente em um corpo opaco .....	23
Figura 3 - Radiação solar incidente em um corpo transparente .....	24
Figura 4 - Linha do tempo da normativa de desempenho no Brasil .....	27
Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro .....	30
Figura 6 – Resumo dos aspectos abordados pela ABNT NBR 15575:2013 .....	34
Figura 7 - Características necessárias para softwares de avaliação de desempenho térmico .....	39
Figura 8 – Fluxograma do programa experimental.....	41
Figura 9 - Fachada do prédio em estudo .....	42
Figura 10 - Localização do objeto de estudo.....	42
Figura 11 - Dados bioclimáticos de Caxias do Sul/RS .....	43
Figura 12 - Classificação bioclimática de Caxias do Sul - RS .....	44
Figura 13 - Classificação bioclimática de Curitiba - PR.....	45
Figura 14 - EP-Lauch EnergyPlus .....	46
Figura 15 - Planta baixa 1º pavimento.....	50
Figura 16 - Planta baixa 2º pavimento.....	50
Figura 17 - Planta baixa 3º pavimento.....	51
Figura 18 - Modelagem 3D da edificação.....	54
Figura 19 – Fachada Sul .....	55
Figura 20 – Fachada Oeste.....	55
Figura 21 - Erro da simulação .....	56
Figura 22 - Fachada Oeste com brise .....	58
Figura 23 - Fachada Leste com brise .....	58
Figura 24 - Sala com brise .....	59
Figura 25 - Brise de 1,20m .....	65
Figura 26 - Brise vertical .....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedação externa.....	31
Quadro 2 - Critérios para simulação.....	36
Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico .....	37
Quadro 4 - Área mínima para ventilação.....	38
Quadro 5 - Tipos de erro do EnergyPlus.....	47
Quadro 6 - Dados de dias típicos para Curitiba/PR.....	48
Quadro 7 - Temperaturas de desempenho .....	49
Quadro 8 - Propriedade dos materiais .....	52
Quadro 9 - Lista de Constructions.....	53
Quadro 10 - Desempenho e temperatura.....	59
Quadro 11 – Resultado para simulação sem brise (1ren/h e cortina off) .....	60
Quadro 12 – Resultado para simulação sem brise (5ren/h e cortina off) .....	61
Quadro 13 – Resultado para simulação sem brise (1ren/h e cortina on) .....	61
Quadro 14 – Resultado para simulação sem brise (5,0 ren/h e cortina on) .....	62
Quadro 15 - Resultado para simulação com brise (1,0 ren/h e cortina off) .....	63
Quadro 16 -Resultado para simulações com brise.....	64
Quadro 17 - Resultados para brise de 1,20m e vertical .....	66
Quadro 18 - Resultados para manta térmica.....	68
Quadro 19 -Resultado para simulações com manta térmica.....	70
Quadro 20 - Resultados para vidro duplos.....	71
Quadro 21 -Resultado para simulações com vidro duplo.....	72
Quadro 22 - Resumo simulações.....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BLAST	Building Loads Analysis and System Thermodynamics
BNH	Banco Nacional da Habitação
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DOE-2	Department of Energy Software
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ONU	Organização das Nações Unidas
NBR	Norma Brasileira
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PR	Paraná
ProjetEEE	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
RS	Rio Grande do Sul
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
ZBBR	Zoneamento Bioclimático do Brasil

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

$\alpha$	Absortância
$\epsilon$	Emissividade
U	Transmitância térmica
Rt	Resistência térmica de superfície a superfície
W	Watt
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
k	Kelvin
RS	Radiação solar incidente
ps	Refletividade solar
T	Transmitância solar
$\rho$	Densidade de massa aparente
kg	Quilogramas
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m	Massa
v	Volume
$\lambda$	Condutividade térmica
Q	Quantidade de calor
L	Espessura
$\Delta t$	Varição de temperatura
A	Área
Cta	Capacidade térmica
J	Joule
E	Espessura
c	Calor específico
C	Capacidade térmica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
1.2 OBJETIVOS PRINCIPAL E ESPECÍFICOS .....	13
<b>1.2.1 Objetivo principal</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
1.3 PRESSUPOSTOS.....	13
1.4 PREMISSAS .....	13
1.5 DELIMITAÇÕES.....	14
<b>2 REFERENCIAL TÉORICO</b> .....	<b>15</b>
2.1 DESEMPENHO TÉRMICO EM ESCOLAS .....	15
2.2 CONFORTO TÉRMICO .....	17
<b>2.2.1 Mecanismos Termorreguladores</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.2 Conceito de conforto térmico</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.3 Temperatura do ar</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.4 Temperatura radiante média</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.5 Umidade relativa do ar</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.6 Velocidade relativa do ar</b> .....	<b>19</b>
2.3 TROCAS TÉRMICAS .....	20
<b>2.3.1 Condução</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.2 Convecção</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.3 Radiação</b> .....	<b>21</b>
2.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS .....	21
<b>2.4.1 Absortância</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4.2 Emissividade</b> .....	<b>22</b>

<b>2.4.3 Transmitância térmica .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.4 Radiação solar .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.5 Propriedades térmicas dos materiais.....</b>	<b>24</b>
2.5 DESEMPENHO TÉRMICO NO BRASIL .....	26
2.6 ABNT NBR 15.220: 2005 .....	28
<b>2.6.1 Parte 1 – definições, símbolos e unidades .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6.2 Parte 2 – métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.3 Parte 3 – zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social .....</b>	<b>29</b>
2.7 ABNT NBR 15.575: 2013 .....	31
<b>2.7.1. Avaliação do desempenho térmico por simulação computacional .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.1.1 Valores máximos e mínimos de temperatura .....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.2. Aberturas para ventilação de ambientes de permanência prolongada ....</b>	<b>37</b>
2.8 <i>ENERGYPLUS</i> .....	38
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>40</b>
3.1 OBJETO DE ESTUDO .....	41
3.2 DEFINIÇÃO DA ZONA BIOCLIMÁTICA.....	43
<b>3.2.1 ARQUIVO CLIMÁTICO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.2 DIAS DE PROJETO .....</b>	<b>44</b>
3.3 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA .....	45
<b>3.3.1 <i>Energyplus</i>.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.2 <i>Inputs</i> de simulação .....</b>	<b>47</b>
3.4 ATENDIMENTO À ABNT NBR 15575:2013 .....	48
3.5 ESTUDO DE CASO .....	49
3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	51

3.7 MODELAGEM.....	54
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>57</b>
4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	73
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O organismo humano pode ser comparado à uma máquina térmica, gerando calor quando executa algum trabalho. Este calor deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente, de forma que a temperatura interna não seja elevada nem reduzida (XAVIER, 1999). Assim, o conforto térmico humano nos ambientes construídos é associado com o desempenho energético e térmico da edificação. A demanda crescente por resfriamento e/ou aquecimento artificial dos espaços internos, demonstra a insatisfação quanto ao conforto do ambiente em que se está inserido (BUONOCORE, 2018).

Devido ao aumento da preocupação com o grau de conforto dos usuários e um alto consumo de energia, foi imprescindível a criação de normatizações referentes ao assunto (SOARES, 2014). A partir dessa necessidade, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou duas normas: A NBR 15220 (2005) – Desempenho térmico de Edificações e a NBR 15575 (2013) – Desempenho de Edifícios Habitacionais.

Conforme Babick e Torres (2017), ao constatar a inexistência de normativas específicas sobre a tipologia da edificação em estudo, percebe-se a necessidade de atualização da norma de desempenho quanto a abrangência da mesma. É necessário estabelecer critérios mínimos para edificações com outros fins, como por exemplo edifícios comerciais, escolas e hotéis. O foco deste trabalho – uma escola da rede privada de ensino fundamental e médio, será avaliado conforme os critérios estabelecidos para edificações residenciais.

As salas de aula são ambientes de permanência prolongada para crianças em fase de desenvolvimento e aprendizado, portanto a analogia de aplicação dos requisitos da norma de desempenho é justificada (BABICK; TORRES, 2017). As edificações escolares são espaços de produtividade e trabalho diários, por isso o conforto ambiental é de grande importância para o desenvolvimento do ensino e aprendizagem (RITTER, 2014).

Desta forma é analisado o nível de desempenho de uma edificação escolar para o método de simulação, previsto pela norma ABNT NBR 15575: 2013. Ainda,

pretende-se analisar o nível de desempenho obtido, e a partir destes resultados, propor melhorias para elevar o nível de desempenho, caso seja necessário.

## 1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Segundo o método de simulação da ABNT NBR 15.575:2013, qual o nível do desempenho térmico de uma escola localizada no município de Caxias do Sul?

## 1.2 OBJETIVOS PRINCIPAL E ESPECÍFICOS

### 1.2.1 Objetivo principal

Avaliar o desempenho térmico de uma escola da rede particular de ensino em Caxias do Sul-RS, utilizando a metodologia prevista na ABNT NBR 15.575:2013, verificando se as salas de aula estão de acordo com o exigido pela norma, de forma a auxiliar nas escolhas de reforma e manutenção da edificação.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) analisar o desempenho térmico das salas de aulas em uma edificação escolar utilizando o *software EnergyPlus*;
- b) caso a edificação não atenda aos requisitos da norma, ou não obtiver desempenho superior, propor melhorias projetuais que aumentem o desempenho térmico da edificação.

## 1.3 PRESSUPOSTOS

Para que os resultados desse trabalho sejam possíveis, pressupõe-se que a escola estudada está executada conforme o memorial descritivo do projeto.

## 1.4 PREMISSAS

- a) existência do memorial descritivo da escola estudada, contendo a relação de todos os materiais construtivos utilizados;

- b) planta de localização e situação corretas, a fim de obter-se a orientação solar da edificação.

### 1.5 DELIMITAÇÕES

- a) a análise será somente quanto ao desempenho térmico, não abrangendo as demais exigências da ABNT NBR 15.575:2013 como segurança, habitabilidade, sustentabilidade e demais itens que compõem a norma;
- b) o método utilizado será de simulação, não abrangendo medição *in loco* e demais métodos de cálculo;
- c) o objeto de estudo será um edifício da rede particular de ensino do município de Caxias do Sul - RS, não sendo possível atribuir os resultados obtidos a outros edifícios com a mesma finalidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados estudos sobre desempenho térmico em escolas, conceitos básicos sobre conforto térmico, comportamento térmico dos materiais, as normas brasileiras de desempenho (NBR ABNT 15.220:2005 e NBR ABNT 15.575:2013) e a estrutura utilizada pelo *software EnergyPlus*. Estes conceitos serão utilizados no capítulo 3 para avaliar as salas de aula da edificação escolar em estudo, analisando se estão de acordo com os padrões exigidos por norma.

### 2.1 DESEMPENHO TÉRMICO EM ESCOLAS

Para a promoção de educação de qualidade é necessário garantir um ambiente em condições favoráveis para a aprendizagem, que estimule e viabilize o conhecimento, além de favorecer as interações humanas. Diversos fatores podem influenciar neste quesito, é um deles é o espaço escolar, mais especificadamente, a sala de aula (MIRANDA; PEREIRA; RISSETI, 2016).

Segundo Paes e Bastos (2014), o ambiente escolar deve oferecer espaços confortáveis, seguros, acolhedores e estimulantes, de modo que contribua para a eficácia do processo educativo. O fracasso e a evasão escolar são preocupações atuais das comunidades educativas, visto que algumas escolas passam por sérios problemas de infraestrutura, com um ambiente que não proporciona ao aluno um desenvolvimento humano, cultural, científico e tecnológico (MIRANDA; PEREIRA; RISSETI, 2016).

A disposição da mobília e as condições ambientais da sala de aula, tais como acústica, temperatura, insolação, ventilação e luminosidade, podem refletir em diversos fatores dos usuários, como no seu desempenho acadêmico e mesmo na sua saúde (ELALI, 2003). São comuns queixas nos consultórios pediátricos, quanto à resfriados, dores de cabeça e garganta, problemas posturais e de coluna, muitas das quais podem estar relacionadas ao ambiente escolar. (ELALI, 2003).

Segundo Beltrame (2009), é necessário que a arquitetura das escolas esteja plenamente adequada para receber os estudantes e possibilite o máximo de aprendizagem aos alunos. Desta forma, é primordial que os projetos sejam pensados

para edificações que possam ser modificadas ao longo dos anos, e considerando o conforto ambiental: condições acústicas, luminosas e térmicas que resultem em variações climáticas que sejam positivas para o bem estar e aproveitamento didático do usuário (BELTRAME, 2009). Para a qualidade do processo de ensinar e aprender, é fundamental que haja harmonia entre dois componentes: a arquitetura e o pedagógico (BELTRAME,2009).

Os aspectos cognitivos, perceptivos e comportamentais resultantes da interação entre a edificação escolar e o usuário, embora relevantes, não serão abordados neste trabalho. O critério de avaliação da qualidade ambiental será apenas quanto ao desempenho térmico da edificação, visto que, o conforto térmico é de grande importância para o desempenho de alunos e professores, pois salas de aula quentes ou excessivamente frias reduzem a atenção e limitam a produtividade (PAES; BASTOS, 2014).

Devido a importância do tema, o desempenho das escolas tem se tornado objeto de estudos frequentes, incluindo publicações governamentais brasileiras, tais como o programa Proinfância. Instituído em 2007, é uma das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação do Ministério da Educação, visando garantir o acesso de crianças a creches e escolas, bem como a melhoria da infraestrutura da rede de educação infantil (GOVERNO FEDERAL, 2014). O programa foi atualizado em dezembro de 2014, passando a ter como referência a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013.

Ainda assim, não há um programa ou norma que regule escolas particulares existentes de ensino fundamental ou médio. Considerando as salas de aula como ambientes de permanência prolongada, a analogia de aplicação dos requisitos da norma NBR 15575:2013 é plausivelmente justificada (BABICK; TORRES, 2017).

Beltrame (2009) afirma que, de forma geral, o conforto térmico e o meio ambiente interferem no aproveitamento didático dos alunos em sala de aula, e por isso é necessário realizar a análise e avaliação do ambiente construído, com a necessidade de investigar a qualidade ambiental do espaço arquitetônico. Elali (2003) ressalta que cada empreendimento deve ser considerado como único, pois a prática

adequada a um local pode não ser apropriada para outro. Com isso, o conforto do espaço onde se convive não deve comprometer o bem estar dos usuários, e sim exercer papel de melhora. Quanto melhor as condições de conforto térmico nas salas de aula, melhor será o aproveitamento didático e o desempenho de que os ocupa (BELTRAME, 2009).

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

O homem é um ser homeotérmico, isto é, sua temperatura interna tende a ser constante, não dependendo da condição climática (FROTA; SCHIFFER, 2007). Com o uso do oxigênio, o organismo promove a queima das calorias obtidas na alimentação, as transformando em energia. Desta forma, o corpo gera calor interno. Contudo, há trocas térmicas entre o corpo humano e o meio, seja por condução, convecção, radiação, evaporação ou respiração (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

### 2.2.1 Mecanismos Termorreguladores

A temperatura interna do organismo humano é relativamente constante, sendo mantida pelo aparelho termorregulador, que comanda a redução ou aumento das perdas e ganhos de calor (FROTA; SCHIFFER, 2007). Em situações de frio, o primeiro mecanismo a ser disparado é a da vasoconstrição periférica, ou seja, são os vasos capilares mais próximos da pele que se contraem, enquanto os mais próximos aos órgãos internos se dilatam. O segundo mecanismo é o arrepio, que aquece a pele por atrito, evitando as perdas de calor por convecção, ao aumentar a rugosidade. Se mesmo após o arrepio, o frio ainda for agressivo, haverá a manifestação do tremor dos músculos, ou seja, o calor produzido internamente será maior, compensando as perdas do organismo para o meio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Já em situações de calor, o primeiro mecanismo termorregulador a ser ativado é o da vasodilatação periférica, que aumenta a temperatura da pele, incrementando as perdas de calor por radiação e convecção. O segundo mecanismo é o suor, o qual vai sendo evaporado no interior dos poros, incrementando, também, as perdas de calor do corpo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

### **2.2.2 Conceito de conforto térmico**

A ASHRAE Standard 55 (2017, p.2) define que conforto térmico é a “[...] condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico e é estimado por avaliação subjetiva”. Desta forma, o conforto pode ser analisado sob dois aspectos, o ponto de vista pessoal e ambiental. Xavier (1999) afirma que, do ponto de vista pessoal, é uma determinada pessoa estar em estado confortável em um ambiente em relação a sua sensação térmica. Enquanto que, do ponto de vista ambiental é o estabelecimento de um estado térmico que deixe o menor número de pessoas insatisfeitas com o ambiente.

O conforto térmico envolve variáveis físicas e ambientais, além de variáveis subjetivas e pessoais, não sendo possível que um grupo em um mesmo ambiente, ao mesmo tempo, esteja totalmente satisfeito com a condição térmica do local. As variáveis físicas são: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar (XAVIER, 1999). Podem ser consideradas também, variáveis psicológicas, como temperatura percebida pela pessoa, sentimento próprio de se sentirem mais aquecidas ou mais refrescadas, tolerabilidade, ajustamento ou adaptação (HOWELL; STRAMLER, 1981 apud XAVIER, 1999).

### **2.2.3 Temperatura do ar**

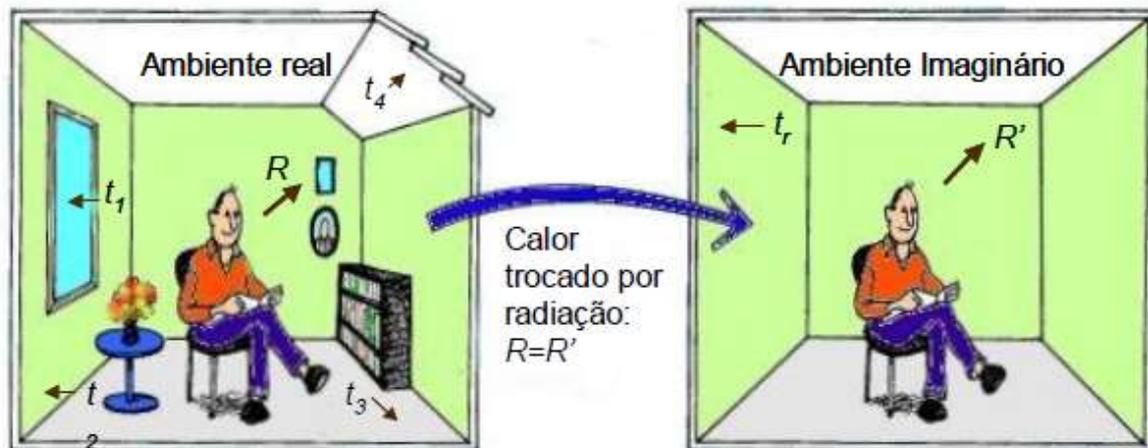
É a variável climática mais conhecida e de fácil medição. A variação da temperatura é resultante dos fluxos de grandes massas de ar e da recepção da radiação de cada local (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Quando a velocidade dos fluxos de ar é pequena, a temperatura é decorrente, em grande parte, dos ganhos térmicos solares do local. Entretanto, quando a velocidade é alta, os fatores locais influenciam mais na temperatura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

### **2.2.4 Temperatura radiante média**

É definido como a “temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual a troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme”, expresso em °C (ABNT, 2005, p.4). As trocas entre um

ambiente real e o corpo, e entre um ambiente imaginário e o mesmo corpo, através da temperatura radiante média, podem ser visualizadas na figura 1.

Figura 1 - Trocas entre ambiente e corpo



Fonte: Lamberts et al (2016).

### 2.2.5 Umidade relativa do ar

A umidade é a “[...] quantidade de vapor d’água contida no ar úmido em relação à quantidade de vapor d’água contido no ar saturado para uma determinada condição de temperatura e pressão” (LAMBERTS et al.,2016). Quanto maior a temperatura, o organismo aumenta a eliminação por evaporação, devido à dificuldade de perda por convecção e radiação. Assim, a eficiência da evaporação na remoção do calor diminui enquanto a umidade relativa aumenta (LAMBERTS et al.,2016).

### 2.2.6 Velocidade relativa do ar

A velocidade do ar ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento (LAMBERTS et al.,2016). A diferença de temperatura faz com que o ar se desloque no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce. Quando o ar se desloca devido a meios mecânicos, o coeficiente de convecção aumenta, fazendo com que a sensação de perda de calor aumente. O deslocamento do ar aumenta os efeitos causados pela evaporação no corpo humano, retirando a água que está em contato com a pele de forma mais eficaz, reduzindo a sensação de calor.

## 2.3 TROCAS TÉRMICAS

As trocas térmicas entre os corpos advêm de duas condições básicas: existência de corpos em diferentes temperaturas ou mudança de estado de agregação (FROTA; SCHIFFER, 2007). Conforme a atividade desenvolvida, a quantidade de calor liberado será dissipada através de mecanismos de trocas térmicas, entre o corpo e ambiente, por meio de trocas secas, ou seja, condução, convecção ou radiação (LAMBERTS et al., 2016).

### 2.3.1 Condução

Condução é definido por Frota e Schiffer (2007, p. 34) como a “[...] troca de calor entre dois corpos que se tocam ou mesmo partes do corpo que estejam a temperaturas diferentes [...]”. Ao entrar em contato com uma superfície mais quente que a pele, ganha-se calor por condução e, da mesma forma que se perde calor caso a superfície seja mais fria (RORIZ, 2008).

A condutividade térmica é relacionada com a capacidade de conduzir calor, sendo possível classificar os materiais como condutores ou isolantes térmicos, dependendo da taxa de condutividade. Um exemplo são os materiais porosos, que são bons isolantes, porque o ar possui baixa condutividade térmica. Ao contrário da água, que é um bom condutor térmico, com condutividade 25 vezes superior à do ar (RORIZ, 2008).

### 2.3.2 Convecção

Convecção é a “[...] troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e outro um fluido (líquido ou gás)” (FROTA; SCHIFFER, 2007, p.32). Peralta (2006, p.27) define como “um processo de transporte de energia entre virtude da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa”.

Quando as correntes convectivas independem da ventilação e são provocadas unicamente pelo efeito da diferença de temperatura entre o ar e o corpo, ocorre a

convecção natural. Quando o deslocamento do ar tem origem em causas externas, ocorre a convecção forçada (RORIZ, 2008).

### **2.3.3 Radiação**

Radiação é o “[...] mecanismo de troca de calor entre dois corpos – que guardam entre si uma distância qualquer – através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica” (FROTA E SCHIFFER, 2007, p.33). O corpo emite radiações com inúmeros comprimentos de onda, sendo que sempre há um no qual a intensidade de energia será maior. Quanto maior a temperatura do corpo, menor o comprimento de onda correspondente à energia máxima (RORIZ, 2008).

Segundo Roriz (2008), as trocas de calor por radiação são muito importantes na sensação humana de calor. Por exemplo, em um edifício as trocas acontecem entre o corpo e a superfície da construção, dependendo da diferença entre as temperaturas, da emissividade das paredes, piso e forro, além da distância entre o indivíduo e a superfície. Como o ar é transparente a radiação, a influência da temperatura superficial interna é desprezível sobre a temperatura do ar, fazendo com que um ambiente seja termicamente desconfortável mesmo quando a temperatura do ar é amena (RORIZ, 2008).

## **2.4 COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MATERIAIS**

Os elementos construtivos e materiais têm seu comportamento definido em função de suas propriedades térmicas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). A intensidade destas trocas ocorre através dos fechamentos em função de fatores tais como: temperatura interna e externas das edificações, absorvância, emissividade, transmitância, intensidade da radiação solar e propriedades térmicas dos materiais construtivos (BALTAR, 2006).

No caso de fechamentos opacos a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre a superfície exterior e a interior, tornando o sentido do fluxo de calor da superfície mais quente para a mais fria. As principais trocas térmicas da edificação ocorrem por meio dos fechamentos transparentes, como janelas e claraboias (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Através destes, uma

parcela significativa de radiação solar é transmitida para o interior da edificação, pois geralmente são bons condutores de calor, ou seja, têm alta transmitância térmica (BALTAR, 2006).

#### 2.4.1 Absortância

A absortância ( $\alpha$ ) é o “[...] quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT, 2005, p.3). Segundo Roriz (2008), a fração absorvida que é transformada em calor, no interior do corpo, é proporcional a absortância, enquanto a parcela refletida é determinada pela refletância. Assim, nos corpos opacos a soma destes dois coeficientes é igual à unidade, visto que a parcela transmitida é nula.

#### 2.4.2 Emissividade

A emissividade ( $\epsilon$ ) é o “[...] quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura”. (ABNT, 2005, p.3). Define-se, também, como uma propriedade física dos materiais na qual diz a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

#### 2.4.3 Transmitância térmica

A transmitância térmica ( $U$ ) é definida como o “[...] inverso da resistência térmica total” (ABNT, 2005, p.2). Lamberts, Dutra, Pereira (2014) afirma que esta é a variável mais importante para avaliação do desempenho térmico de fechamentos opacos, pois com ela, pode-se avaliar o comportamento do fechamento quanto à transmissão de calor, e assim poder escolher a melhor opção de fechamento. Pode ser calculada pela equação 1.

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (1)$$

onde:  $U$  – transmitância térmica do componente,  $W/m^2$ ;

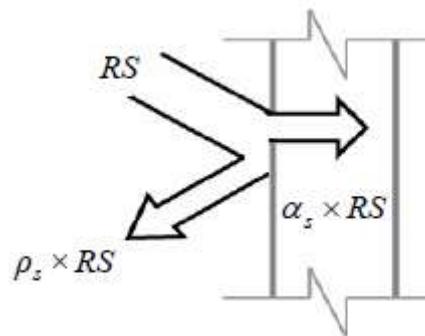
$R_t$  – resistência térmica de superfície a superfície,  $(m^2.K)/W$ .

#### 2.4.4 Radiação solar

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta que é responsável pela energia no planeta. O conjunto da trajetória elíptica da Terra ao redor do Sol e a rotação da terra determinam as variações de intensidade da radiação ao longo do dia e ano (LAMBERTS et al., 2016).

Quando atinge a atmosfera terrestre, a radiação solar é dividida entre a porção direta e difusa. A radiação direta é a que atinge diretamente a terra, enquanto a difusa é a parcela que sofre um espalhamento pelas nuvens e atmosfera, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens, e re-irradiada para a terra (LAMBERTS et al., 2016). A energia radiante que incide sobre um corpo opaco é em parte absorvida e em parte refletida, conforme a figura 2.

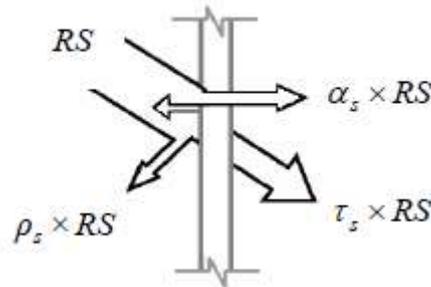
Figura 2 - Radiação solar incidente em um corpo opaco



Fonte: Baltar (2006).

A energia radiante que incide sobre um corpo transparente é em parte absorvida, refletida e transmitida. Este corpo ao receber energia radiante, reage seletivamente, significando que a quantidade de energia que absorve, reflete ou transmite depende do comprimento de onda do raio incidente, conforme figura 3 (LAMBERTS et al.,2016).

Figura 3 - Radiação solar incidente em um corpo transparente



Fonte: Baltar (2006).

## 2.4.5 Propriedades térmicas dos materiais

### 2.4.5.1 Densidade de massa aparente

Segundo a norma NBR 15220-1 (ABNT, 2005), densidade de massa aparente ( $\rho$ ) é o quociente da massa pelo volume aparente de um corpo. Pode ser calculado pela equação 4:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

onde:  $\rho$  – densidade de massa aparente, kg/m<sup>3</sup>;

$m$  – massa (kg);

$v$  – volume (m<sup>3</sup>).

### 2.4.5.2 Condutividade térmica

Conforme a NBR 15220-1: (ABNT, 2005), condutividade térmica ( $\lambda$ ) é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m<sup>2</sup>, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. É uma propriedade característica de cada material e pode ser calculada através da equação 5:

$$\lambda = \frac{Q \times L}{\Delta T \times A} \quad (5)$$

onde:  $\lambda$  – condutividade térmica, W/m.K;

Q – quantidade de calor, W;

L – espessura, m;

$\Delta T$  – variação de temperatura, K;

A – área (m<sup>2</sup>)

Por vezes, a densidade é considerada como um indicador de condutividade, pois materiais com densidade elevada usualmente possuem condutividade elevada também, porém não existe uma relação direta entre as duas quantidades. A aparente relação é devido ao fato de o ar possuir baixa condutividade térmica, e os materiais leves tenderem a ser porosos, contendo mais ar, e, portanto, menor condutividade (BALTAR, 2006).

#### 2.4.5.3 Capacidade térmica

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), capacidade térmica (C) é a “quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema”. Quando aplicada a materiais construtivos, indica a maior ou menor capacidade de reter calor. Através do valor da capacidade térmica pode-se avaliar o quanto um material contribui em termos de inércia térmica em um ambiente. Pode ser calculado através da equação 6.

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_1 + (e \cdot c \cdot \rho)_2 + \dots + (e \cdot c \cdot \rho)_n \quad (6)$$

onde:  $C_{Ta}$  – capacidade térmica, kJ/kg.K;

e – espessura do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor, m);

c – calor específico do elemento, kJ/kg.K;

$\rho$  – densidade do elemento, kg/m<sup>3</sup>;

n – número de camadas de elementos

#### 2.4.5.4 Calor específico

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005), define calor específico (c) como o quociente da capacidade térmica pela massa. Quanto menor o calor específico de uma substância,

mais facilmente ela pode sofrer variações em sua temperatura. Pode-se determinar o calor específico de uma substância a partir da quantidade de calor cedida a um corpo dessa substância, da variação térmica que ele sofre, e da massa deste corpo, pela equação 7 (BALTAR, 2006).

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta T} \quad (7)$$

onde: c – calor específico, kJ/kg.K;

$\Delta T$  – variação de temperatura (K)

Também é possível determinar o calor específico de uma substância através da capacidade térmica do corpo composto por ela e da massa desse corpo. A equação 8 demonstra este método.

$$c = \frac{C}{m} \quad (8)$$

onde: C – capacidade térmica (J/K).

## 2.5 DESEMPENHO TÉRMICO NO BRASIL

Segundo Borges (2008), a década de 70 foi de grande crescimento da economia e grandes investimentos na construção civil, com o surgimento de novos sistemas construtivos. No entanto, ao mesmo tempo era fundamental que fosse criado um instrumento para avaliar tecnicamente tais sistemas.

No início da década de 80, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), com o apoio financeiro do BHN (Banco Nacional da Habitação), desenvolveu requisitos a serem atendidos em projetos habitacionais. Porém com a extinção do BHN em 1986, houve a desestruturação do sistema de análise de tecnologias em habitação (BORGES, 2008).

Okamoto (2015) afirma que na década 1990, as empresas de construção civil começam a buscar destaque no mercado, prometendo o melhor preço ou melhor prazo, não dando a devida importância a qualidade. Desta forma, situações extremas foram percebidas quanto a segurança e desempenho das construções.

O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitar (PBQP-H), criado em 1998, é um documento desenvolvido pelo governo, que visa auxiliar o cumprimento dos compromissos estabelecidos pelo Brasil ao assinar a Carta de Istambul, na Conferência do Habitat II de 1996 (SIENGE, 2017). Define-se este, como um dos instrumentos do Governo Federal que visa organizar o setor da construção civil, um programa de adesão voluntária, que tem como finalidade a melhoria da qualidade do habitat e a modernização produtiva (GOVERNO FEDERAL, 2018).

Segundo o SIENGE (2017), o programa dita a qualidade aceitável para as habitações, além de ser essencial na aprovação dos melhores financiamentos habitacionais. Assim, a ideia principal do PBQP-h é reduzir o déficit habitacional do país, aumento a qualidade de serviços, reduzindo custos e otimizando a utilização dos recursos públicos e privados.

A publicação da Portaria nº13 em 6 de janeiro de 2017, marcou o fim de um ciclo de estudos e debates em torno do PBQP-h, tornando obrigatório que as construtoras e incorporadoras adequassem os projetos conforme a ABNT NBR 15575:2013, a norma de desempenho (LIMA, 2018). Segundo Okamoto (2015), iniciou-se então, um processo de transformação na concepção e produção de edificações residenciais no Brasil, envolvendo toda a cadeia produtiva, modificando o processo de projeto e construção. A figura 4 resume a linha do tempo da criação de normativas quanto ao desempenho das edificações no Brasil.

Figura 4 - Linha do tempo da normativa de desempenho no Brasil



Fonte: Adaptado de Amaral Neto et al. (2016)

## 2.6 ABNT NBR 15.220: 2005

A norma ABNT NBR 15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações apresenta recomendações quando ao desempenho térmico de habitações. Por meio dela, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, apresenta recomendações de diretrizes construtivas, além de detalhar estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados (PROJETEEE, 2020). A norma é dividida em cinco partes, conforme descrito a seguir:

- a) parte 1: definições, símbolos e unidades;
- b) parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- c) parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- d) parte 4: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- e) parte 5: medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Para a realização da avaliação do desempenho térmico deste trabalho serão necessárias as três primeiras partes da norma, visto que são exigidas pela ABNT NBR 15575:2013. A seguir serão dispostos os principais aspectos e pontos de interesse das partes citadas.

### 2.6.1 Parte 1 – definições, símbolos e unidades

A primeira parte da norma “[...] estabelece as definições e correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações” (ABNT, 2005, p.1). Os conceitos que serão utilizados ao decorrer do trabalho, como características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos, estão apresentados nos tópicos 2.3 e 2.4.

### **2.6.2 Parte 2 – métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**

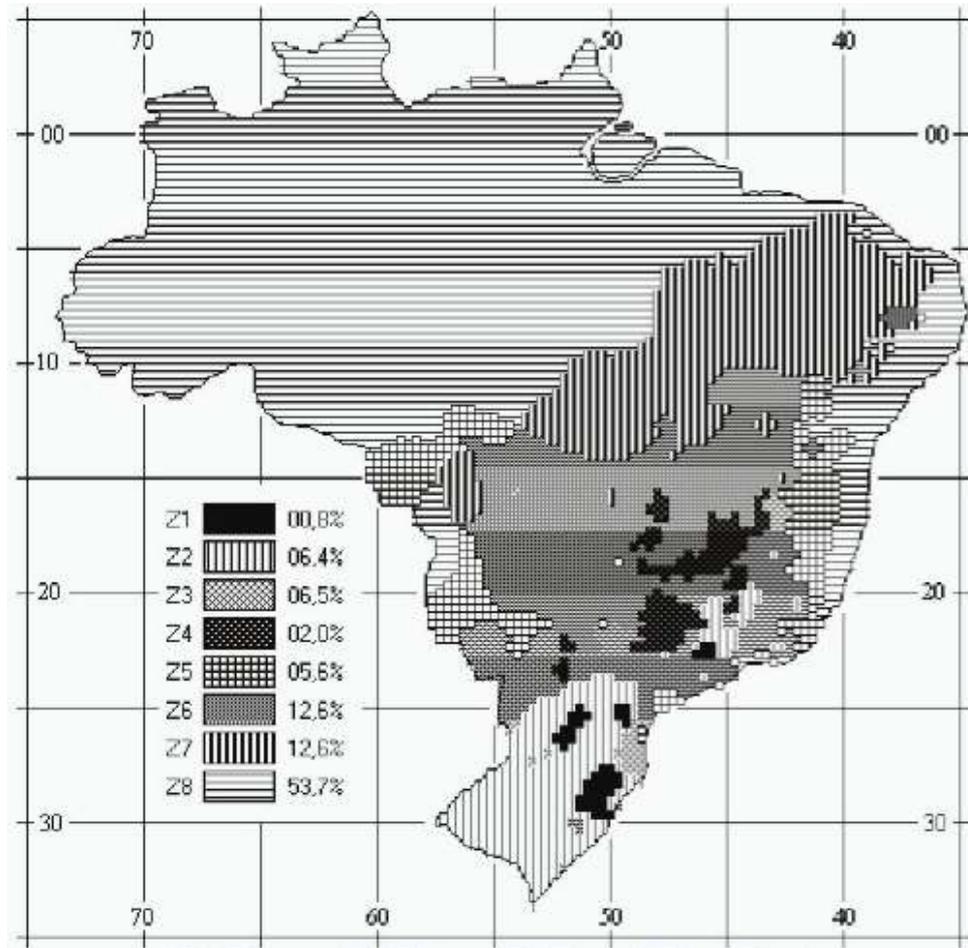
Esta parte da norma “[...] estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas – resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar – de elementos e componentes de edificações” (ABNT, 2005, p.1). Possui três anexos, sendo o anexo A de caráter normativo e os anexos B e C de caráter informativo.

O anexo A recomenda valores médios para as resistências térmicas superficiais. O anexo B descreve as principais propriedades térmicas de diversos materiais, como por exemplo calor específico, condutividade e densidade. Já no anexo C contém exemplos de cálculo de componentes construtivos, quanto a resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Para a realização deste trabalho serão necessários os cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, estas fórmulas estão descritas nos itens 2.4.3 e 2.4.5.3.

### **2.6.3 Parte 3 – zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**

Esta parte da norma “[...] estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social” (ABNT, 2005, p.1). Este zoneamento compreende oito zonas, conforme a figura 5.

Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005.

Segundo Lamberts, Dutra, Pereira (2014), a norma define as principais características e define diretrizes construtivas, baseadas nas cartas bioclimáticas para cada uma das zonas bioclimáticas, em relação ao tamanho das janelas, ao sombreamento necessário, tipo ideal de paredes e coberturas. Como a edificação em estudo está em Caxias do Sul/RS, a zona bioclimática para este trabalho é a zona 1.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005) recomenda que as edificações da zona 1 devem ter aberturas médias para ventilação e sombreamento das aberturas, de forma a permitir a incidência do sol durante o período de frio. Além disso, as vedações externas devem ser do tipo leve para as paredes, e do tipo leve isolada para a cobertura. O quadro 1 resume os valores exigidos.

Quadro 1 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedação externa

Vedação externa	Transmitância térmica – U W/m <sup>2</sup> .K	Atraso térmico – $\phi$ h	Fator solar – FS <sub>0</sub> %
Parede leve	U ≤ 3,00	$\phi$ ≤ 4,3	FS <sub>0</sub> ≤ 5,0
Cobertura leve isolada	U ≤ 2,00	$\phi$ ≤ 3,3	FS <sub>0</sub> ≤ 6,5

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220-3:2005.

Conforme informações das tabelas 3 e 25 da ABNT NBR 15220-3:2005, são duas as principais estratégias para condicionamento térmico passivo para a zona 1: aquecimento solar da edificação e utilização de vedações internas pesadas. Para o aquecimento solar da edificação, a norma cita que:

A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar (ABNT NBR 15220-3:2005, p. 11)

Para as vedações internas pesadas a norma define que “a adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecida” (ABNT, 2005, p. 11).

Completam a norma os anexos, sendo o primeiro, o anexo A, de caráter normativo, no qual é relacionado as 330 cidades cujo clima foi classificado. O anexo B, de caráter normativo, demonstra a metodologia para a classificação das zonas bioclimáticas. Já o anexo C, de caráter informativo, traz recomendações e diretrizes construtivas para a adequação de edificações ao clima local. Por último, o anexo D, de caráter informativo, especifica valores para transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para alguns sistemas construtivos.

## 2.7 ABNT NBR 15.575: 2013

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) – Edificações habitacionais – Desempenho, mais conhecida como Norma Brasileira de Desempenho, contempla requisitos, critérios e

métodos de avaliação relacionados ao desempenho de edificações residenciais (OKAMOTO, 2015). O conjunto normativo trouxe conceitos de comportamento em uso de sistemas e componentes para edificações, de forma a atender e cumprir exigências dos usuários ao longo dos anos, promovendo uma melhor relação entre projetista, fornecedor, construtor, incorporador e consumidor (CBIC, 2013).

Conforme Babick e Torres (2017), não existem normas nacionais específicas de conforto térmico para edificações escolares, mas é possível analisar através destas duas normas nacionais, visto que contempla o desempenho térmico em ambientes de permanência prolongada. Diante disto, mesmo que a norma seja específica para edificações habitacionais, será utilizada como parâmetro de avaliação para uma edificação escolar da rede privada de ensino. Segundo o Encontro Nacional da Indústria da Construção, realizada no Rio de Janeiro, entre os dias 15 e 17 de maio de 2019, é tendência do mercado que projetos de prédios comerciais, tais como creches e escolas, sejam desenvolvidos atendendo critérios da ABNT NBR 15575:2013. Desta forma, a avaliação do desempenho térmico será desenvolvida conforme o exigido pela norma.

Neto et. Al (2016) afirma que a norma tem como um de seus objetivos a preservação do desempenho da edificação, contribuindo para a preservação do valor do patrimônio. A norma entrou oficialmente em vigor em julho de 2013, sendo um marco para a modernização tecnológica da construção brasileira e melhoria da qualidade das habitações (CBIC, 2013). A norma é dividida em seis partes, conforme descrito a seguir, porém para a realização da avaliação do desempenho térmico deste trabalho serão necessárias as partes 1, 4 e 5:

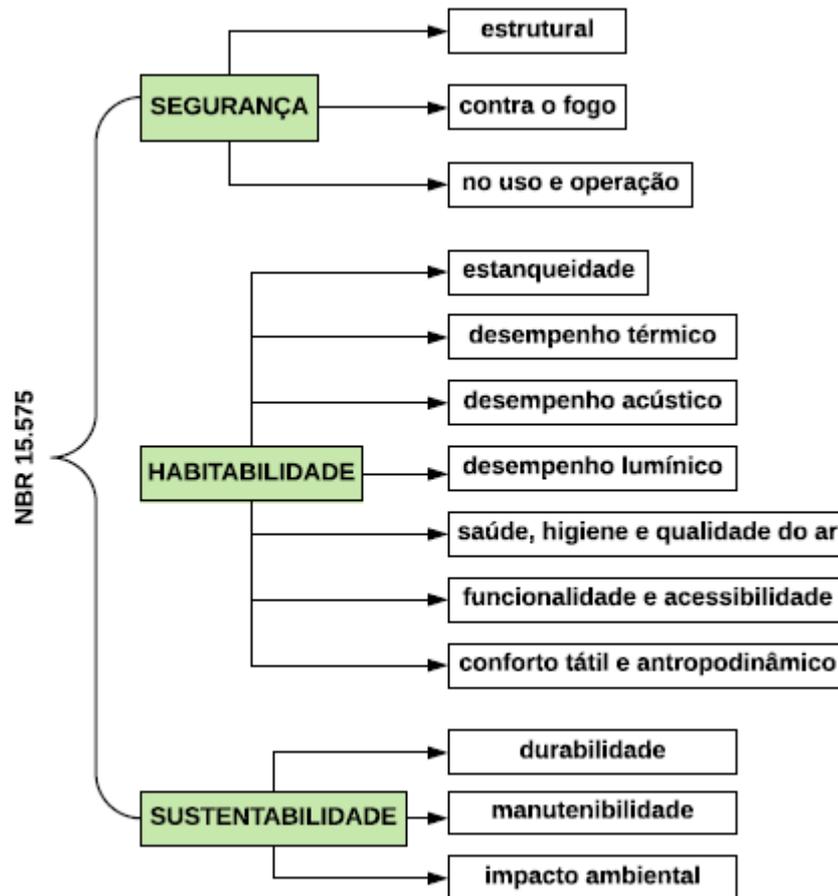
- a) parte 1: requisitos gerais;
- b) parte 2: requisitos para os sistemas estruturais;
- c) parte 3: requisitos para os sistemas de pisos;
- d) parte 4: requisitos para os sistemas de vedação internas e externas - SVVIE;
- e) parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas;
- f) parte 6: requisitos para os sistemas hidrossanitários.

A primeira parte da norma “[...] estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos” (ABNT, 2013, p.1). São apresentados 43 definições e termos, alguns deles já citados no trabalho, tais como absorvância à radiação solar, capacidade térmica e transmitância térmica. Entretanto, é importante salientar alguns conceitos novos:

- a) critérios de desempenho: “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados” (ABNT, 2013, p.6);
- b) dia típico de projeto de verão: “dia definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo média do período dos últimos dez anos” (ABNT, 2013, p.7);
- c) dia típico de projeto de inverno: “dia definido como um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos dez anos” (ABNT, 2013, p.7).

De forma resumida, a NBR 15575 apresenta requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho, conforme a figura 6.

Figura 6 – Resumo dos aspectos abordados pela ABNT NBR 15575:2013



Fonte: adaptado de Okamoto (2015).

A norma cita dois procedimentos para a avaliação térmica, sendo um método simplificado e outro por meio de medição. Para o primeiro procedimento, é necessário verificar o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da obra, com base na transmitância térmica e capacidade térmica de paredes de fachada e cobertura (CBIC, 2013). Caso os resultados sejam insatisfatórios, deve-se avaliar o desempenho térmico como um todo pelo método de simulação computacional (ABNT, 2013).

### 2.7.1. Avaliação do desempenho térmico por simulação computacional

O método utilizado no trabalho é o de simulação, e para isso a norma recomenda a utilização do programa *EnergyPlus*. Além disso, é necessário utilizar os dados das propriedades térmicas dos componentes construtivos, estes podendo ser

obtidos por ensaios de laboratório, com o fabricante, ou utilizando dados disponibilizados na ABNT NBR 15220-2:2013.

Para a realização das simulações computacionais é necessário utilizar as tabelas A.1, A.2 e A.3 – Anexo A da ABNT NBR 15575-1:2013, as quais fornecem dados climáticos do Brasil. Os dados relevantes para este trabalho estão expressos no item 2.6.3.

Segundo o CBIC (2013) para realizar a simulação, deve-se considerar a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica, reproduzindo todas as características construtivas, tais como dimensões em planta, pé direito, aberturas e materiais construtivos utilizados. São necessários os dados relativos à condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absorptância à radiação solar e resistência ou transmitância térmica de elementos (CBIC, 2013).

A absorptância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforma as características do material, como por exemplo a cor (CBIC, 2013). Para a cobertura, o valor utilizado deve ser correspondente ao material utilizado para o telhado (ABNT, 2013). Já para as paredes, deve-se assumir o valor da absorptância correspondente a cor definida em projeto, e caso a cor não esteja definida, deve-se simular para cor clara ( $\alpha=0,3$ ), cor média ( $\alpha=0,5$ ) e cor escura ( $\alpha=0,7$ ).

Deve ser simulados todos os recintos de permanência prolongada, considerando um cômodo na extremidade da habitação e a orientação geográfica mais crítica do ponto de vista térmica (CBIC, 2013). As condições críticas do ponto de vista térmico adotados pela norma são:

- 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” (ABNT, 2013, p.24).
- b) inverno: “[...] janela do dormitório ou da sala de estar voltada para o sul e a outra parede exposta voltada pra leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para o sul” (ABNT, 2013, p.24)

Deve-se considerar as paredes expostas e janelas totalmente desobstruídas para a simulação, de forma que não seja modificada a incidência de sol e/ou vento. Exceto quando a edificação possuir brises, marquises ou edificações próximas (CBIC, 2013). Quanto a ventilação, deve ser considerado a condição padrão, ou seja, uma taxa de 1 ren/h (uma renovação de ar por hora do ambiente) (CBIC,2013).

Caso a edificação não atenda aos critérios estabelecidos para o verão, é necessário simular novamente com algumas alterações, conforme o quadro 2.

Quadro 2 - Critérios para simulação

Critério	Alteração
Ventilação	Configuração da taxa de ventilação 5,0 ren/h e janelas sem sombreamento.
Sombreamento	Inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de 1,0 ren/h
Ventilação e sombreamento	Combinação das duas estratégias anteriores. Inserir dispositivo proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-1:2013

Segundo o CBIC (2013), uma forma de alcançar a redução de 50% da radiação solar mencionada pela norma, é a utilização de cortinas ou persianas. Estas não precisam estar em projeto, mas devem ser apresentadas no manual de uso, operação e manutenção da edificação.

#### 2.7.1.1 Valores máximos e mínimos de temperatura

A norma apresenta requisitos para desempenho do verão e no inverno. Para o verão é necessário “apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão” (ABNT, 2013, p. 22). O requisito de desempenho do inverno se faz necessário devido a zona bioclimática – zona 1 – que está inserido o objeto de estudo, portanto é necessário “apresentar condições térmicas no interior do edifício habitacional melhores que a do ambiente externo, no dia típico de projeto de inverno” (ABNT, 2013,

p. 23). Os níveis para aceitação estão no quadro 3, onde estão expressos os níveis mínimos (M), intermediários (I) e superiores (S).

Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico

Condição	Nível de desempenho	Critério
Verão	M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
	I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$
	S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$
Inverno	M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3^{\circ}\text{C})$
	I	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5^{\circ}\text{C})$
	S	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7^{\circ}\text{C})$
<p><math>T_{i,máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius</p> <p><math>T_{e,máx.}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius</p> <p><math>T_{i,mín.}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius</p> <p><math>T_{e,mín.}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius</p>		

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-1:2013.

A norma ABNT NBR 15575: 2013 apresenta os dias típicos de verão e inverno para as capitais brasileiras, elaboradas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Segundo Soares (2014), caso a cidade do projeto não esteja nas tabelas da norma, é permitido usar os dados climáticos da cidade mais próxima, desde que esteja dentro da mesma zona bioclimática e com altitude de mesma ordem de grandeza.

### 2.7.2. Aberturas para ventilação de ambientes de permanência prolongada

Os ambientes de permanência prolongada devem possuir aberturas para a ventilação, de forma que atendam à legislação específica do local de implantação da obra. Quando não houver requisitos de ordem legal, devem atender aos valores especificados no quadro 4 (ABNT, 2013).

Quadro 4 - Área mínima para ventilação

Nível de desempenho	Abertura para ventilação (A)
	Zona 1 a 7 Aberturas médias
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área de piso
Nota: nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio	

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4:2013.

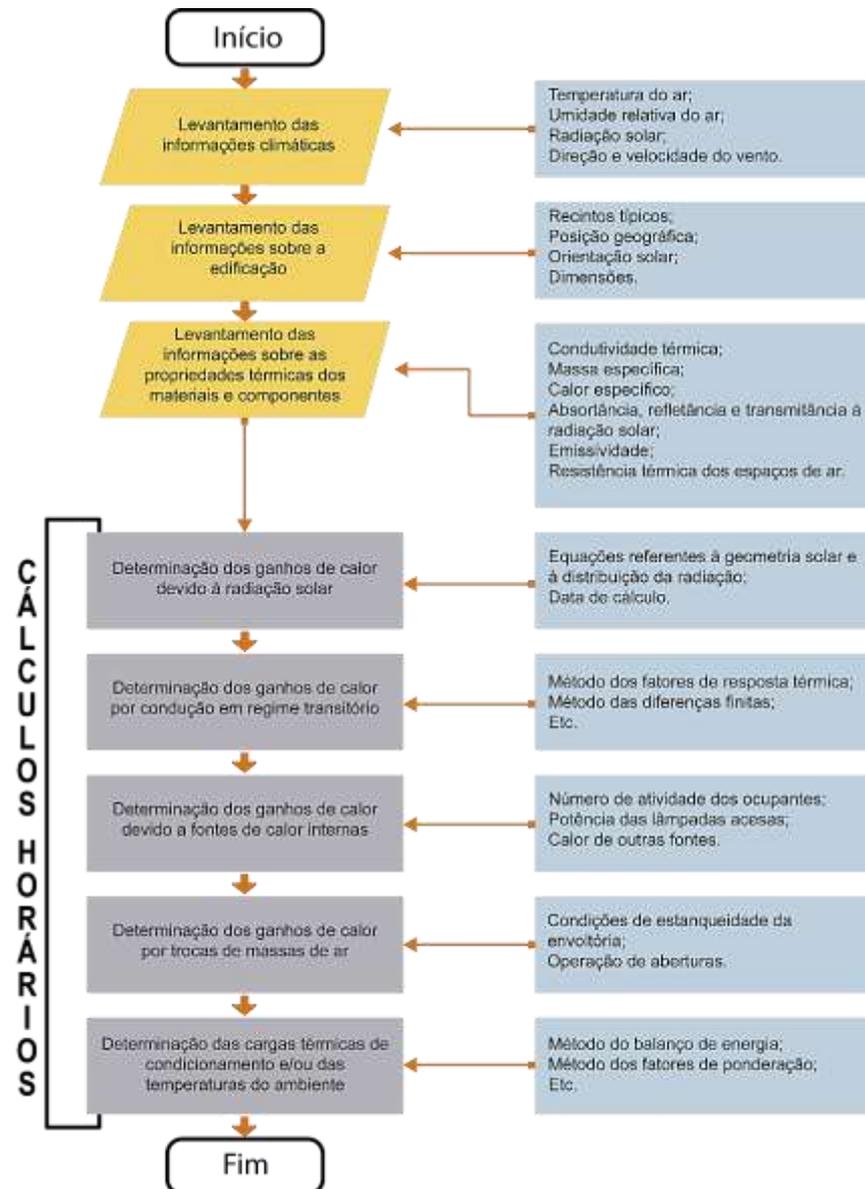
## 2.8 ENERGYPLUS

A simulação computacional pode ser realizada através de *softwares* que permitem a identificação da influência de variáveis arquitetônicas no consumo e no desempenho térmico de edificações (MOTA, 2016). Segundo Carlo (2008), o *EnergyPlus* é um programa que simula o desempenho térmico e energético de edificações, abrangendo todos os sistemas que compõem a edificação, como climatização, iluminação, cargas internas e propriedades térmicas de materiais. Criado a partir de dois programas, o *BLAST* e o *DOE-2*, é distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, possuindo capacidade de simulação diferenciada (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009).

Ferreira (2006) aponta que o *software* funciona a partir de uma base de dados referente a edificação estudada, utilizando os sistemas construtivos, elétricos, sistemas mecânicos junto com a rotina de utilização dos mesmos. Com estes dados, o programa calcula as cargas de aquecimento e resfriamento necessárias de forma a manter o controle térmico pré-determinado, as condições de funcionamento de um segundo sistema de ar-condicionado, além do consumo energético dos equipamentos existentes.

A norma ABNT NBR 15575:2013 recomenda a utilização do *EnergyPlus* para a realização das simulações computacionais, por ser um dos programas mais confiáveis e utilizados no mundo, pois opera de acordo com as normas ASHRAE 90.1:1999 e ASHRAE 140:2004 (POUEY, 2011). De forma geral, os *softwares* devem reunir as características da figura 7, e é neste contexto que o *EnergyPlus* está inserido.

Figura 7 - Características necessárias para softwares de avaliação de desempenho térmico



Fonte: adaptado de CBIC (2013).

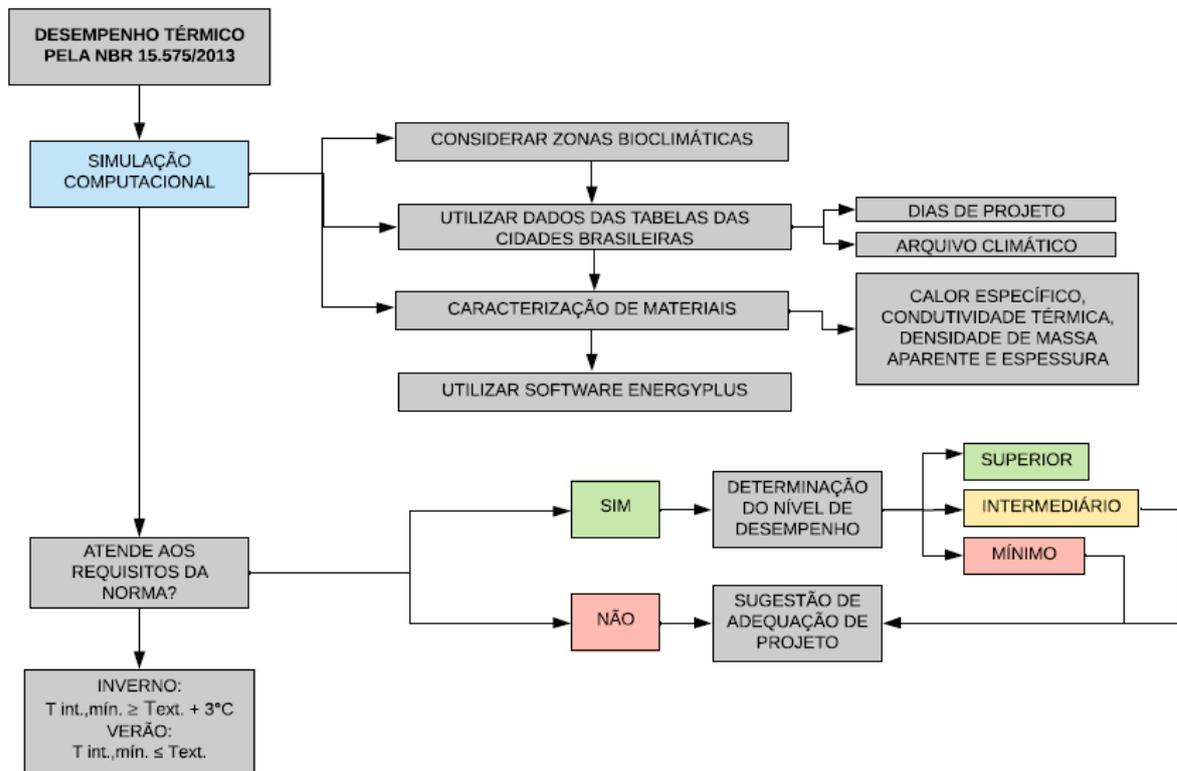
### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O capítulo anterior descreveu os conceitos utilizados para a analisar a edificação escolar, que forma que seja possível avaliar o desempenho térmico da mesma, e assim determinar o grau de atendimento da norma. Entretanto, para realizar estas análises é necessário conhecer as características da edificação onde foi realizado o estudo de caso. Neste capítulo é apresentado a escola, a zona bioclimática em que está inserida e os dados referentes a ela, e a aplicação do *software* necessário.

Diante disso, a primeira etapa foi identificar a localização do objeto de estudo dentre as oito zonas bioclimáticas brasileiras, visto que as exigências da norma estão atreladas as características do local. Em seguida foi necessário caracterizar os materiais e métodos construtivos da edificação, além da definição de quais ambientes seriam simulados. As propriedades térmicas dos materiais construtivos, tais como, calor específico, condutividade térmica e densidade foram estipulados através da ABNT NBR 15220:2005.

A partir da modulação 3D da edificação foi possível simular no *software EnergyPlus* o desempenho térmico da mesma. Salienta-se que apenas pelo método de simulação é possível analisar se a edificação atende a um nível de desempenho maior que o mínimo. As etapas que compõem esta análise estão apresentadas no fluxograma, conforme figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: autora (2020).

### 3.1 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo está localizado na Rua Sinimbu, no bairro São Pelegrino, na cidade de Caxias do Sul/RS. Trata-se de uma edificação escolar de quatro pavimentos, construída em concreto armado, divididos em dois blocos: o bloco A construído na década de 1960, e bloco B no início da década de 1990. As figuras 9 e 10, ilustram, respectivamente, a fachada e a localização do prédio. O Colégio São Carlos possui 8.715,52 m<sup>2</sup> de área edificada, com 37 salas de aula, além de duas bibliotecas, laboratório de informática e demais salas de uso administrativo.

Figura 9 - Fachada do prédio em estudo



Fonte: Colégio São Carlos (2020)

Figura 10 - Localização do objeto de estudo



Fonte: GeoCaxias (2020).

## 3.2 DEFINIÇÃO DA ZONA BIOCLIMÁTICA

A classificação bioclimática é realizada com base na norma ABNT NBR 15220-3:2005. Desta forma, a zona bioclimática utilizada para a análise deste trabalho é a 1, a qual abrange as cidades de Caxias do Sul, Curitiba, Lajes, São Joaquim, Campos do Jordão, entre outras. Por serem regiões mais frias, apresentam desconforto bioclimático principalmente devido ao frio, por isso não possuem restrições quanto ao aquecimento. As estratégias para esta zona estão apresentadas no item 2.6.3.

### 3.2.1 Arquivo Climático

A ABNT NBR 15575-1:2013 fornece os dados climáticos para algumas cidades brasileiras, porém na falta de dados de arquivos climáticos da cidade onde se encontra a edificação de estudo, a norma permite utilizar dados de cidades com características climáticas semelhantes. Segundo dados do Projetee<sup>1</sup>, Caxias do Sul/RS não possui dados bioclimáticos disponíveis, sendo necessário utilizar os dados de Bento Gonçalves/RS, conforme indicado na figura 11.

Figura 11 - Dados bioclimáticos de Caxias do Sul/RS



#### CAXIAS DO SUL - RS

NÃO POSSUI DADOS BIOCLIMÁTICOS DISPONÍVEIS NO MOMENTO

A cidade na mesma zona bioclimática com dados disponíveis é:

**Bento Gonçalves/RS**

Recomendamos utilizá-la como referência.

Fonte: autora (2020)

<sup>1</sup> Projetando Edificações Energeticamente Eficientes: ferramenta pública desenvolvida pelo PROCEL/Eletronbras e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

### 3.2.2 Dias de projeto

A norma ABNT NBR 15575:2013 apresenta os dias de projeto para as capitais brasileiras, desta forma, para o caso de Caxias do Sul, não são apresentados dados específicos. Entretanto a norma permite utilizar os dados climáticos da cidade com características climáticas similares.

A cidade que pode ser usada como referência é Curitiba/PR, devido aos dados climáticos serem parecidos. Conforme o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ZBBR) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), demonstrado nas figuras 12 e 13, a zona bioclimática para ambas as cidades é a zona 1 e a altitude é de 817 metros para Caxias do Sul/RS e 934 metros para Curitiba/PR.

Figura 12 - Classificação bioclimática de Caxias do Sul - RS

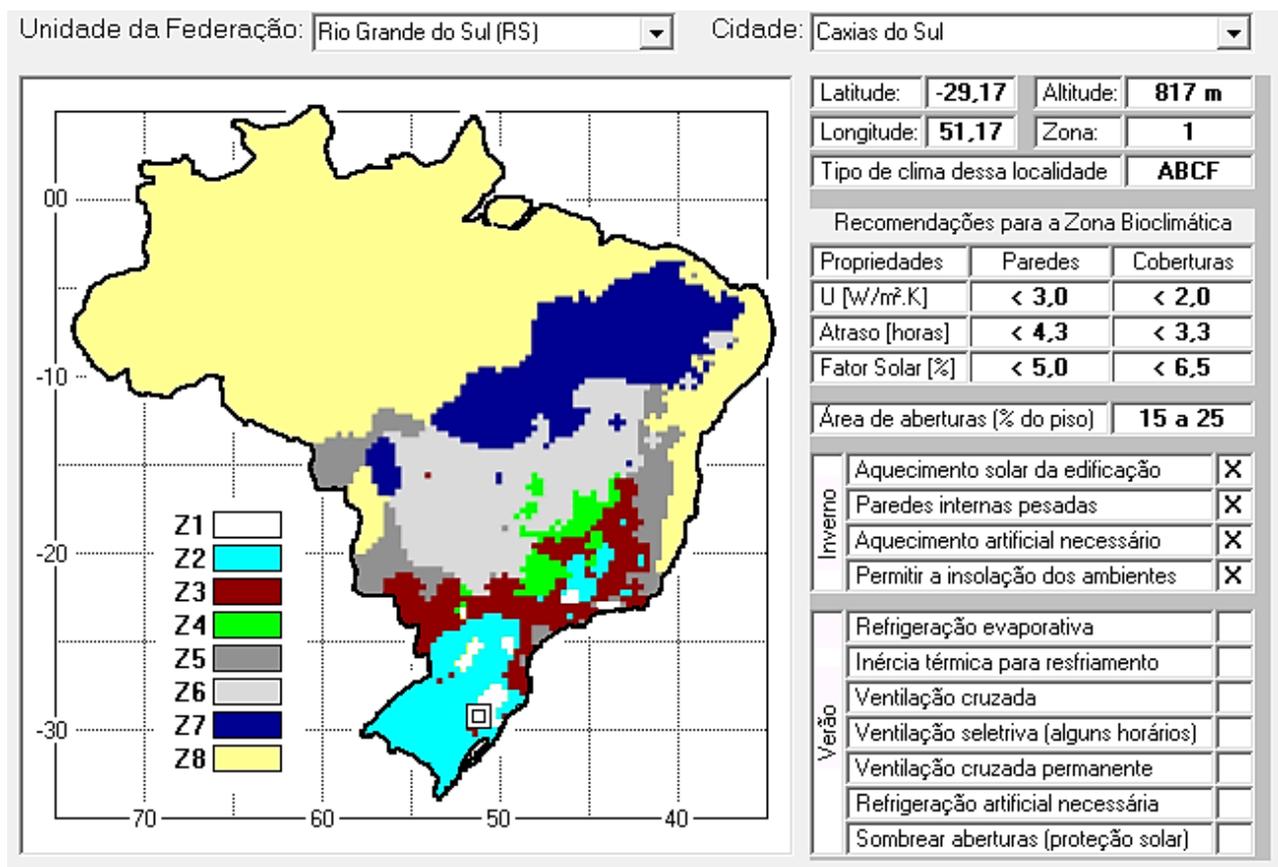
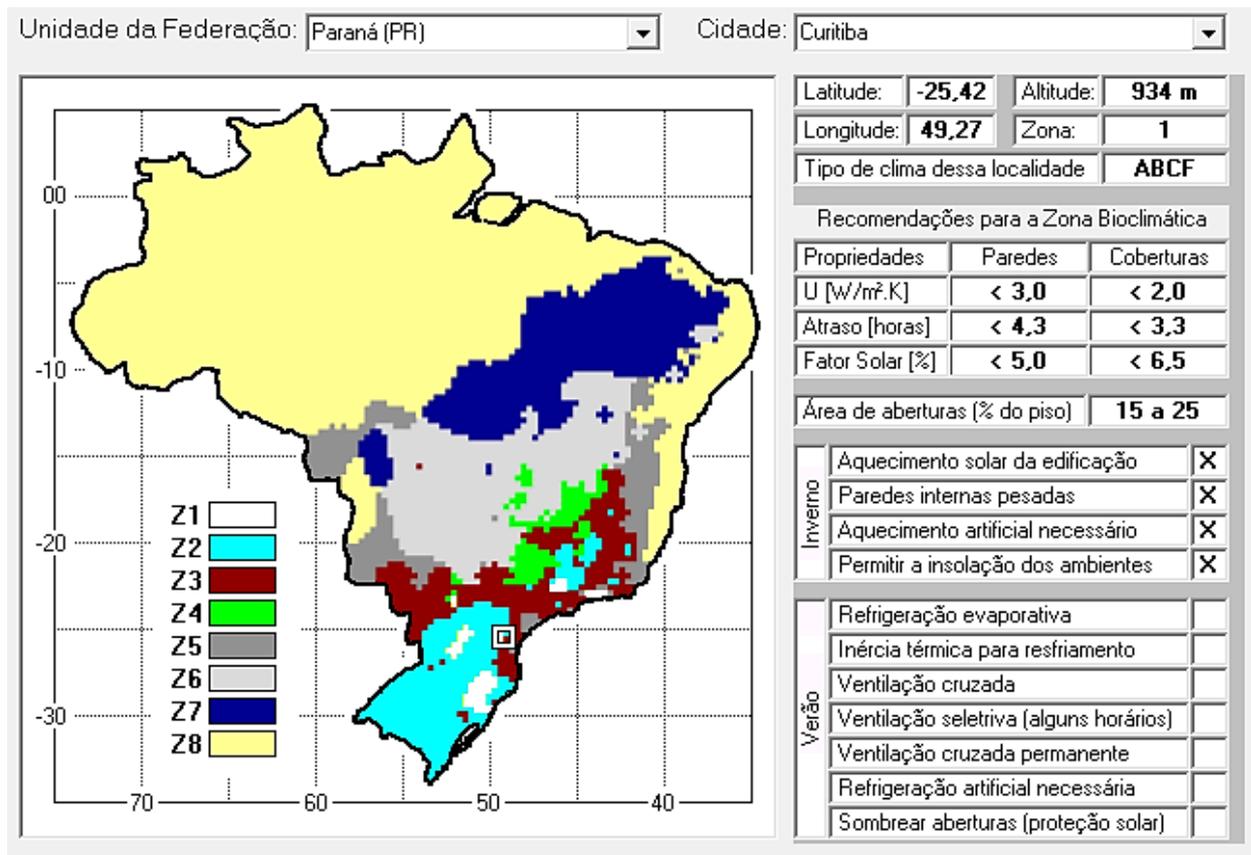


Figura 13 - Classificação bioclimática de Curitiba - PR



Fonte: autora (2020).

Segundo Soares (2014), é possível determinar o dia típico por meio de dois métodos aplicados no Brasil para o tratamento de dados climáticos: o primeiro é o desenvolvido por Sattler (1989) e outro desenvolvido por Akutsu e Vittorino (1991). Estas metodologias são complexas e não são o foco deste trabalho, por isso utiliza-se os dados já conhecidos, como a norma NBR ABNT 15575:2013 permite.

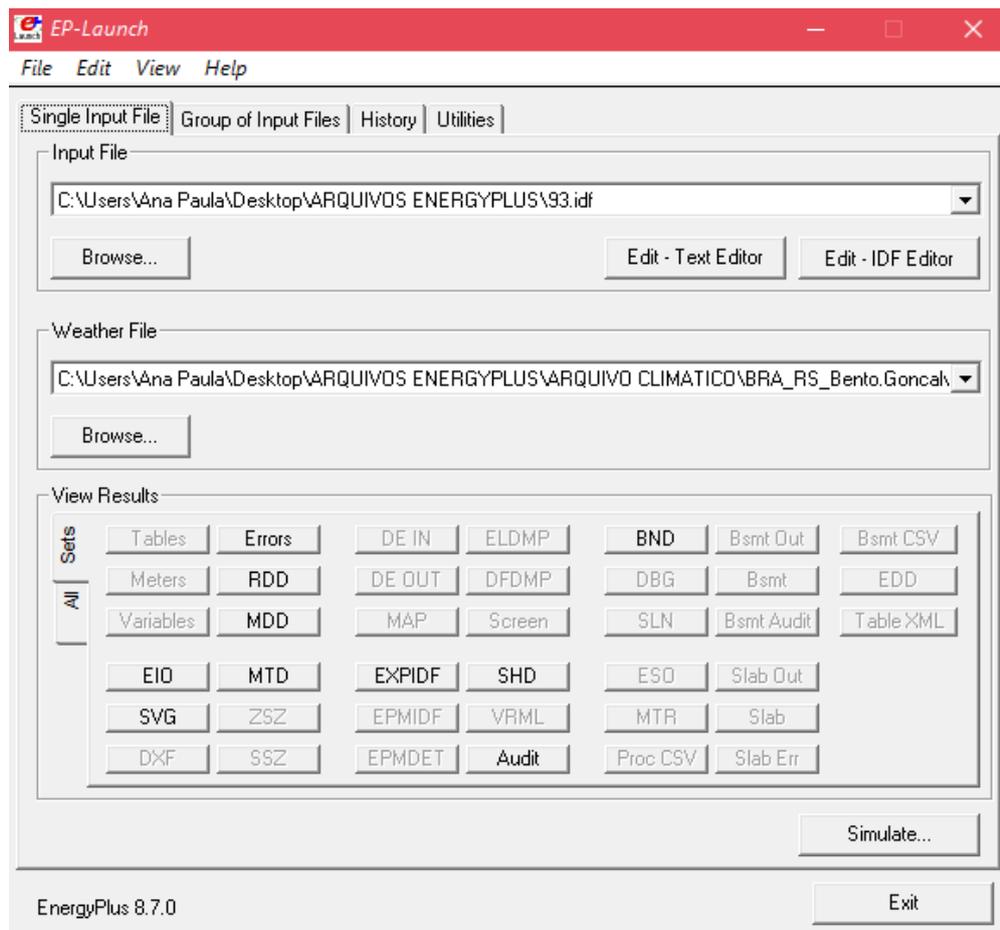
### 3.3 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

As simulações termoenergéticas são capazes de calcular as trocas térmicas entre o exterior e o interior de uma edificação, com um bom grau de precisão. Para isso é necessário informações sobre o clima local, a geometria do edifício e as características de seus materiais. Com estes dados, o resultado será as temperaturas do ar no interior dos ambientes, para cada hora de 365 dias.

### 3.3.1 EnergyPlus

O software utilizado foi o *EnergyPlus*, pois além de ser um dos mais utilizados no mercado, é o validado pela norma americana *ASHRAE 140*, cumprindo os requisitos da norma de desempenho brasileira. A figura 14 mostra a *EP-Launch*, a interface principal do programa.

Figura 14 - *EP-Launch EnergyPlus*



Fonte: autora (2020).

Em seguida, é possível acessar o editor IDF, onde, a partir de um arquivo IDF (*Input Data File*), pode-se fazer as alterações geométricas, físicas, de equipamentos e ocupação que são necessárias. É nesta etapa que foram adicionados, também, as informações sobre clima, materiais e métodos construtivos utilizados.

Definido a simulação para o arquivo climático e o período de simulação, foi possível executar o programa. O programa exibe o status da simulação, podendo ocorrer o êxito ou algum erro. Dentre os erros, há três tipos, conforme quadro 5.

Quadro 5 - Tipos de erro do EnergyPlus

Tipo	Característica
Warning	Erro leve, que deve ser corrigido quando aplicável. Não compromete o andamento da simulação.
Severe	O erro deve ser corrigido obrigatoriamente
Fatal	A simulação será abortada

Fonte: adaptado de Westphal e Lamberts (2006).

Após a correção dos erros, quando necessária, foram gerados os resultados em um arquivo do tipo .csv, o qual pode ser aberto, por exemplo, no programa *Google Planilhas*. A primeira coluna da planilha corresponde à data e à hora, já as colunas seguintes correspondem às variáveis solicitadas no arquivo IDF. Com estes dados, pode-se traçar gráficos com os dados de temperatura e radiação solar, por exemplo.

### 3.3.2 Inputs de simulação

Para a realização da simulação no *EnergyPlus*, foi necessário fornecer dados de entrada. Estes dados, chamados de *inputs*, foram inseridos na simulação, visando a obtenção das temperaturas estimadas nos ambientes da edificação. São necessários quatro *inputs*:

- a) geometria do edifício: modelo tridimensional contendo todos os elementos sólidos opacos, vidros e demais componentes arquitetônicos, como brises ou edificações vizinhas, implantados de acordo com a orientação solar. Esta modulação foi feita com o *software Sketch-Up*, junto do *software Euclid*<sup>2</sup>;
- b) materiais: dados de transmitância, capacidade térmica e absorvância de paredes internas, externas e cobertura, e desempenho térmico de vidros;
- c) taxa de ventilação: a ABNT NBR 15575:2013 determina para os ambientes uma taxa fixa de renovação de ar de 1 ren/h;
- d) dados climáticos: temperatura do ar externo, nebulosidade e radiação de dias típicos de verão e inverno para a localidade.

As propriedades dos materiais lançadas no *software* devem ser as mesmas dos materiais utilizados na construção, de forma que os resultados sejam verdadeiros.

<sup>2</sup> *Software Euclid*: coleção de ferramentas que auxiliam a modelagem energética da edificação.

Para isso, a inserção de dados deve-se basear no memorial descritivo, de forma que todos os materiais sejam utilizados e referenciados de forma correta. Foi necessário informar a espessura, condutividade, densidade e calor específico de cada material, além das características atribuídas a cor e dureza. Estas propriedades podem ser encontradas por meio de ensaios de laboratório ou obtidas no anexo B da ABNT NBR 15220:2005.

### 3.4 ATENDIMENTO À ABNT NBR 15575:2013

O método da simulação deve ser adotado sempre que se desejar uma análise mais completa e realista do desempenho térmico de uma edificação. O objetivo das simulações computacionais da ABNT NBR 15575:2013 é demonstrar que os ambientes de permanência social mantêm temperaturas dentro de limites pré-estabelecidos que variam de acordo com a zona bioclimática.

Conforme os valores do quadro 6, que apresenta os dados de dias típicos de verão e inverno para Curitiba, foi possível calcular as temperaturas exigidas pela norma, expressas no quadro 7. Para este trabalho, esperava-se que a edificação obtivesse o desempenho superior, visto que, mesmo que aceito pela norma, os valores para o desempenho mínimo e intermediário podem não ser considerados agradáveis pelo usuário.

Quadro 6 - Dados de dias típicos para Curitiba/PR

Estação	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação Solar (Wh/m <sup>2</sup> )	Nebulosidade (décimos)
Verão	31,4	10,2	21,3	2774	8
Inverno	0,7	11,6	11,0	1666	6

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-1:2013.

Quadro 7 - Temperaturas de desempenho

Desempenho	Verão	Inverno
Insuficiente	$t > 31,4^{\circ}\text{C}$	$t < 3,7^{\circ}\text{C}$
Mínimo	$31,4^{\circ}\text{C} > t > 29,4^{\circ}\text{C}$	$3,7^{\circ}\text{C} < t < 5,7^{\circ}\text{C}$
Intermediário	$29,4^{\circ}\text{C} > t > 27,4^{\circ}\text{C}$	$5,7^{\circ}\text{C} < t < 7,7^{\circ}\text{C}$
Superior	$t < 27,4^{\circ}\text{C}$	$t > 7,7^{\circ}\text{C}$

Fonte: autora (2020).

Estes dados foram analisados por meio das planilhas geradas pelo próprio *software EnergyPlus*, visto que a saída de dados é uma planilha csv, ou seja, uma planilha compatível com o *Google Planilhas*. Desta forma, foi possível verificar as temperaturas máximas e mínimas.

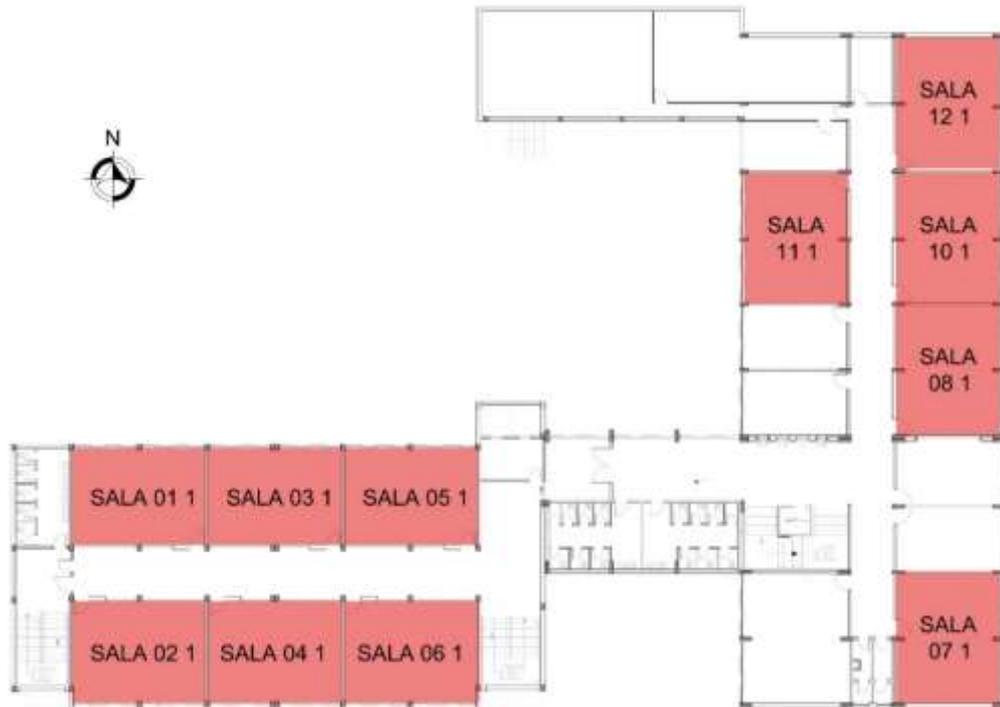
### 3.5 ESTUDO DE CASO

A edificação do estudo de caso é uma edificação escolar, composta por dois blocos e quatro pavimentos. Segundo memorial descritivo de 1988, o prédio é estruturado em concreto armado, com paredes internas e externas de tijolos maciços. O reboco interno é de areia grossa, e os revestimentos com areia fina feltrada com nata de cal. As paredes externas possuem revestimento em litocerâmica, com as partes de concreto deixadas à vista. As paredes dos sanitários são revestidas com azulejos até 2 metros de altura. Os pisos das salas de aula são de parquet, nas circulações são ladrilhos de granilite, e nos sanitários são de cerâmica. Na cobertura, a armação do telhado é de madeira de primeira qualidade, disposta a recolher adequadamente telhas de alumínio. As aberturas externas são de alumínio anodizado, enquanto as portas e janelas internas são de madeira de boa qualidade. Quanto a pintura, todas as partes rebocadas são pintadas com tinta látex 100% acrílica.

A norma exige que sejam simulados apenas os ambientes de permanência prolongada, portanto, para o caso da edificação escolar, serão simuladas apenas as salas de aula, sendo desconsiderado demais ambientes, tais como sala dos professores, sala da direção, banheiros e biblioteca. A edificação possui dezoito salas de 54,92 m<sup>2</sup> e dezenove de 52,90 m<sup>2</sup>, totalizando 37 salas, distribuídas em três

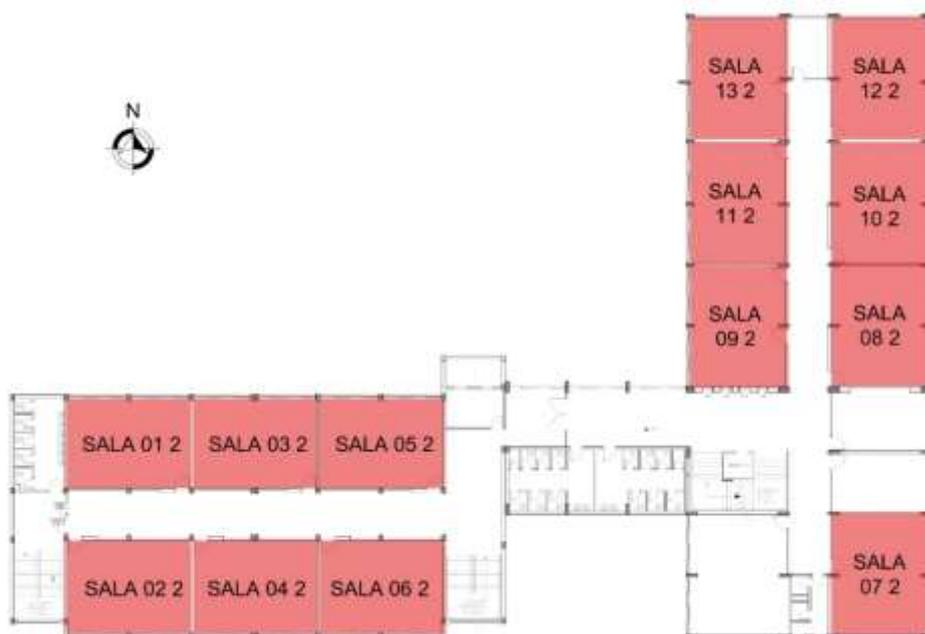
andares, conforme figuras 15, 16 e 17. Não há salas de aula no andar térreo, apenas biblioteca e demais salas de uso administrativo.

Figura 15 - Planta baixa 1º pavimento



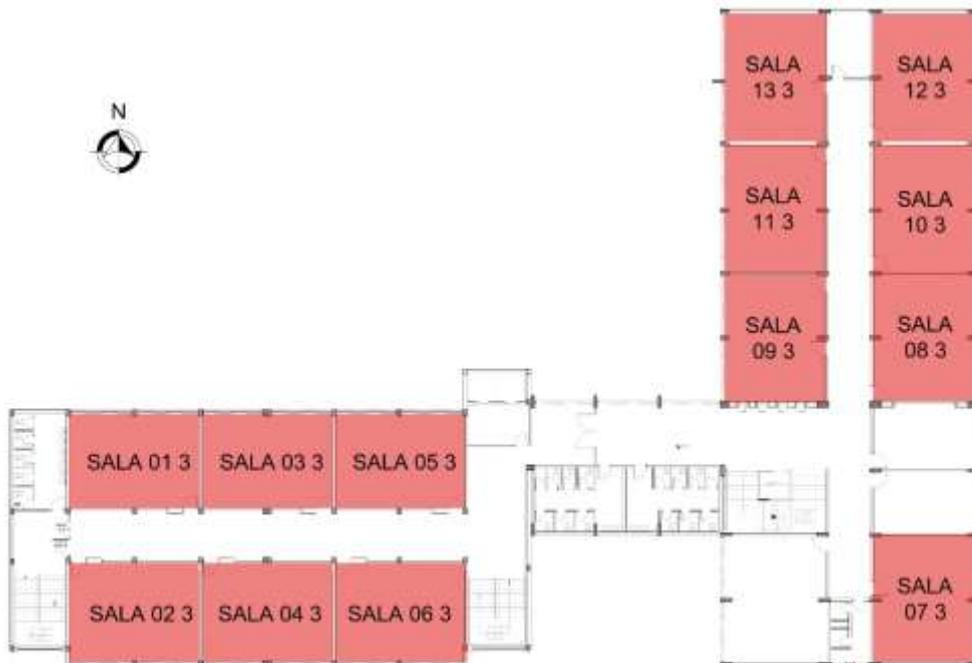
Fonte: autora (2020).

Figura 16 - Planta baixa 2º pavimento



Fonte: autora (2020).

Figura 17 - Planta baixa 3º pavimento



Fonte: autora (2020).

### 3.6 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a realização da simulação termoenergética, a norma ABNT NBR 15.575:2013 cita que é necessário caracterizar os materiais construtivos da edificação. O quadro 8 apresenta as propriedades dos materiais utilizados para o estudo de caso.

Quadro 8 - Propriedade dos materiais

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.K)	Fonte
Argamassa colante	0,005	1,15	1800	1000	ABNT NBR 15.220 (2005)
Basalto	0,02	2,20	2700	840	
Parquet	0,018	0,29	800	1340	
Reboco branco	0,0175	1,15	2000	1000	
	0,015	1,15	2000	1000	
Reboco externo	0,025	1,15	2000	1000	
Reboco teto	0,025	1,15	2000	1000	ABNT NBR 15.220 (2005)
Reboco verde	0,0175	1,15	2000	1000	
Telha fibrocimento	0,007	0,95	1800	840	
Vidro simples	0,003	1,00	2500	840	
Cerâmica (parede)	0,006	1,15	2400	1000	ORDENES, et al. (2003)
Concreto (laje telhado)	0,15	1,75	2400	1000	
Concreto (laje piso)	0,10	1,75	2400	1000	
Contrapiso	0,03	1,15	2000	1000	
Tijolo maciço	0,21	0,90	1812	920	
	0,115	0,90	1764	920	

Fonte: autora (2020).

A partir da relação dos materiais da edificação, é possível listar as características construtivas, ou seja, como são compostas as superfícies. Para cada *construction*<sup>3</sup>, é preciso pensar na composição das camadas do ambiente de fora para dentro. O quadro 9 lista todos os tipos de materiais utilizados.

<sup>3</sup> *Construction*: propriedade do *Energyplus* de tipo de construção para cada superfície.

Quadro 9 - Lista de *Constructions*

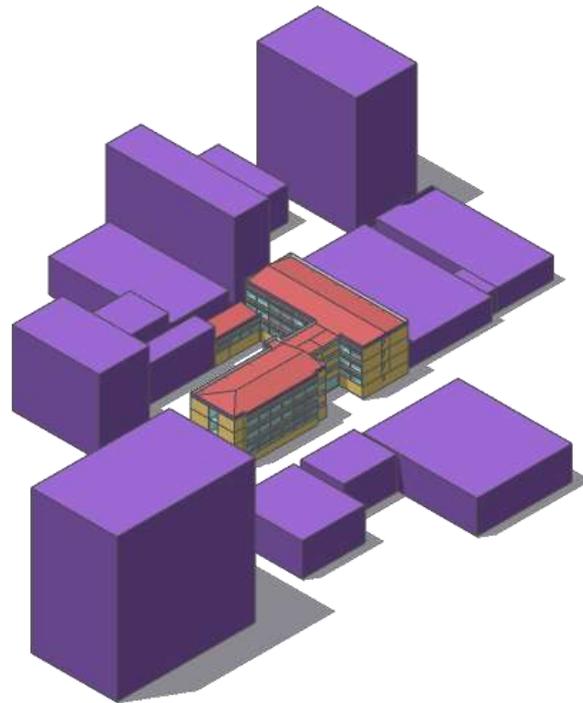
<i>Construction</i>	Piso entre andares parquet	Forro entre andares	Parede interna branca	Parede interna branca
Material 1	Reboco teto	Parquet	Reboco branco 17mm	Reboco branco 17mm
Material 2	Concreto piso	Contrapiso	Tijolo 11cm	Tijolo 11cm
Material 3	Contrapiso	Concreto piso	Reboco branco 17mm	Reboco branco 17mm
Material 4	<i>Parquet</i>	Reboco teto	-	-
<i>Construction</i>	Parede interna verde branca	Parede interna branca cerâmica	Parede interna branca verde	Piso entre andares basalto
Material 1	Reboco branco 17mm	Cerâmica	Reboco verde	Reboco teto
Material 2	<i>Tijolo 11cm</i>	Argamassa colante	Tijolo 11cm	Concreto piso
Material 3	<i>Reboco verde</i>	Reboco branco 17mm	Reboco branco 17mm	Contrapiso
Material 4	-	Tijolo 11cm	-	Basalto
Material 5	-	Reboco branco 17mm	-	-
<i>Construction</i>	<i>Parede externa 2</i>	Parede interna verde verde	Parede Sinimbu	Forro
Material 1	<i>Reboco externo</i>	Reboco verde	Tijolo 21cm	Concreto piso
Material 2	<i>Tijolo 21cm</i>	Tijolo 11cm	Reboco branco 17mm	Reboco teto
Material 3	<i>Reboco branco 15mm</i>	Reboco verde	-	-
<i>Construction</i>	<i>Telhado</i>	Piso telhado		
Material 1	Telha fibrocimento	Reboco teto		
Material 2	-	Concreto piso		

Fonte: autora (2020).

### 3.7 MODELAGEM

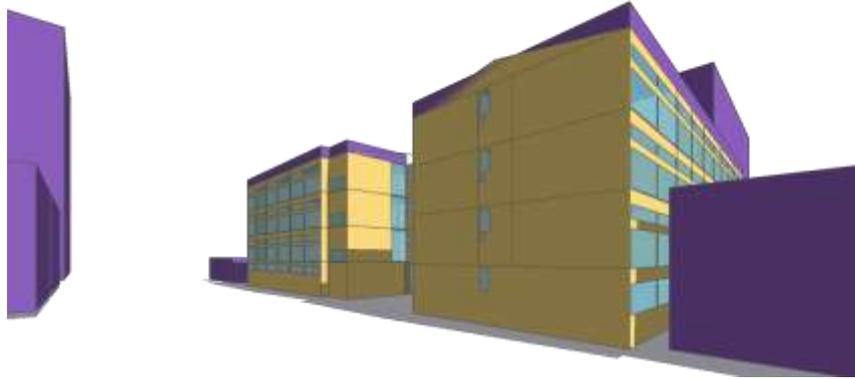
A modelagem da edificação em estudo foi realizada a partir do *software Sketch-Up*, junto com o plug-in *Euclid*, de forma a obter-se o modelo 3D. Cada ambiente foi desenhado como uma zona térmica, ou seja, uma composição de superfícies externas, internas e um volume de ar com temperatura uniforme (ZIEBELL, 2013). Ainda, é necessário inserir as aberturas e elementos de sombreamento, tais como brises e edificações vizinhas. No Apêndice A está listado todas as classes utilizadas no *EnergyPlus*, por meio de capturas de tela do *software*. A figura 18 demonstra a isométrica do conjunto modelado, a figura 19 apresenta a fachada sul e a figura 20 a fachada oeste.

Figura 18 - Modelagem 3D da edificação



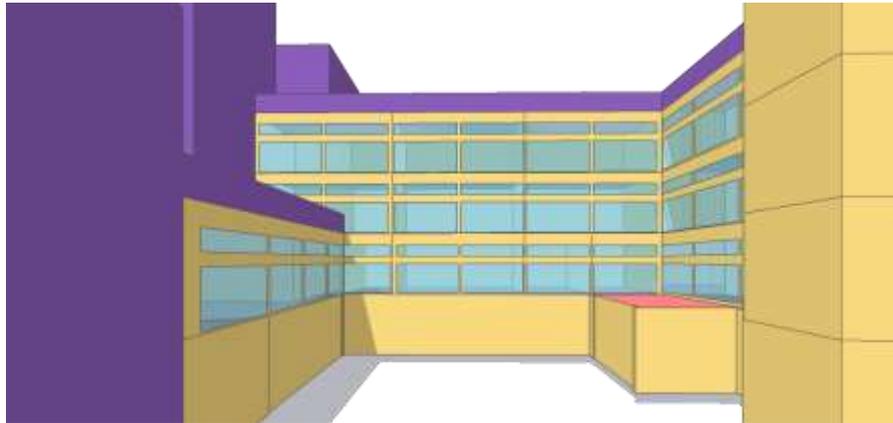
Fonte: autora (2020).

Figura 19 – Fachada Sul



Fonte: autora (2020).

Figura 20 – Fachada Oeste

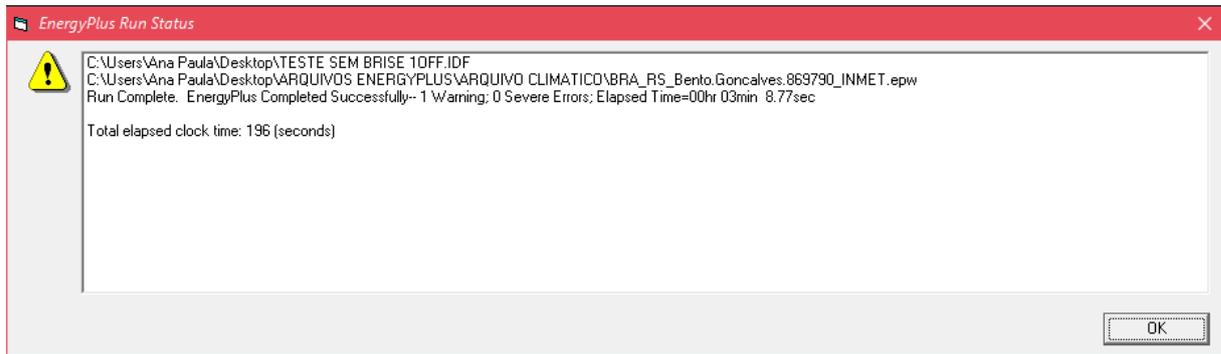


Fonte: autora (2020).

É necessário informar a composição de cada um dos elementos construtivos, como piso, parede, forro, telhado, porta ou janela. Além disso, deve-se informar, para cada uma destas composições, as condições de contorno do elemento: *outdoor* (para superfícies expostas a condições externas de temperatura), *adiabatic* (superfícies que não realizam trocas de calor) e *groud* (quando a superfície está em contato com o solo) (ZIEBELL, 2013).

Após introduzir todos os dados necessários à simulação e o arquivo climático, foi possível dar continuidade com o *EnergyPlus*. Consequentemente, houve apenas um aviso de erro, do tipo *Warning*. Este diz respeito as temperaturas do solo, que estão fora da faixa de 15-25°C determinados pelo próprio programa. Entretanto este erro não compromete os resultados gerados. A figura 21 demonstra este aviso.

Figura 21 - Erro da simulação



Fonte: autora (2020).

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

A modelagem inicial tem como base a edificação como está no local, ou seja, não é considerado nenhum tipo de interferência construtiva, ou sugestão de adequação. A primeira simulação foi gerada conforme o exigido pela ABNT NBR 15575:2013: com taxa de renovação do ar de 1,0 ren/h e sem cortinas. O valor de 1 renovação de ar por hora significa que o ar presente em cada ambiente é renovado uma vez a cada hora, o que seria realizado através de frestas, não sendo necessário abrir toda a janela.

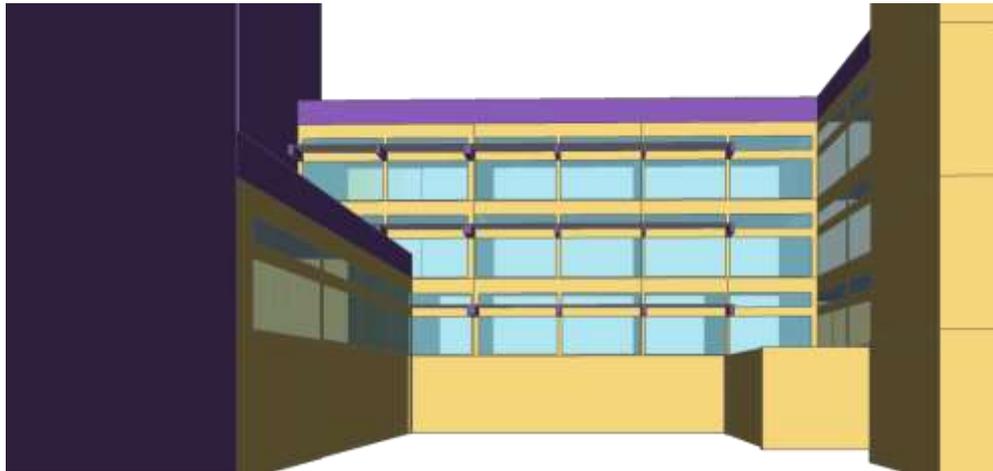
Como resultado da simulação, um arquivo do tipo .csv é gerado com as temperaturas internas para cada ambiente (zona climática) inserida. Os valores foram filtrados, de forma a gerar uma outra planilha somente com as temperaturas máxima e mínima para cada sala de aula. Em seguida, estes valores foram separados em colunas para o verão e inverno.

Além disso, foram refinados os valores considerando o ano inteiro e o ano letivo. Este último foi considerado através de uma média dos últimos quatro anos letivos do colégio, sendo considerado então os períodos de: 15 de fevereiro até 23 de julho, e 29 de julho até 21 de dezembro, entre as 7h e 12h, e 13h até as 19h.

Como a simulação para o verão não foi completamente satisfatória, foi realizado uma outra simulação, desta vez considerando a utilização de brises. Estes já foram implementados uma vez na edificação, mas foram retirados pois apresentavam risco de queda, e poderiam machucar os usuários da edificação.

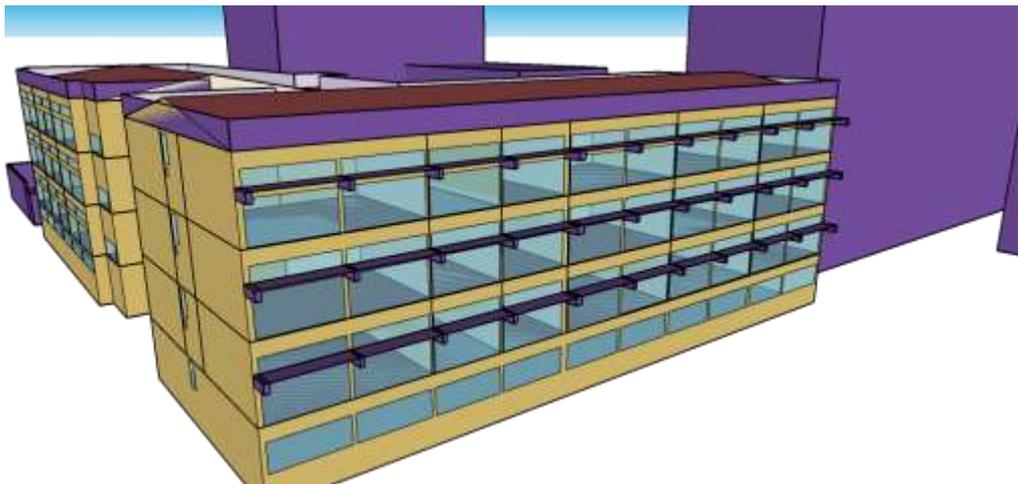
Desta forma, a simulação realizada foi para averiguar se era necessário refazer a instalação destes brises, ou seja, se as temperaturas internas das salas de aula seriam mais próximas ao desempenho superior quando acrescentado esta mudança arquitetônica. As figuras 22 e 23 demonstra as fachadas em que foram considerados os brises.

Figura 22 - Fachada Oeste com brise



Fonte: autora (2020).

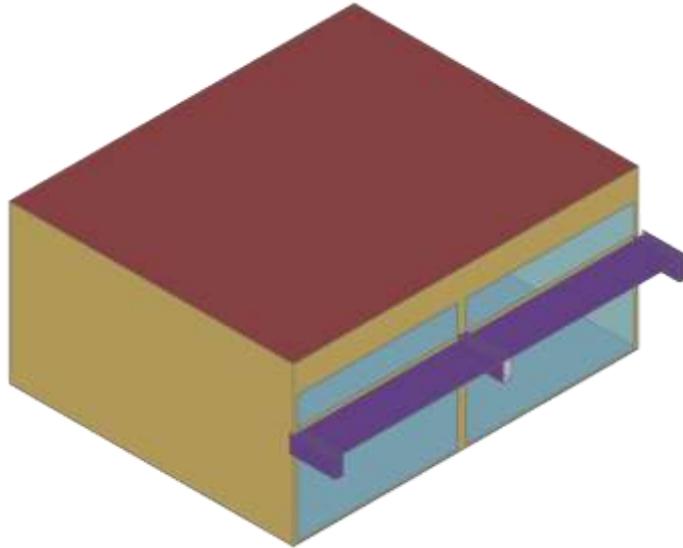
Figura 23 - Fachada Leste com brise



Fonte: autora (2020).

Os brises utilizados eram de telhas translúcidas, apoiadas em vigas de concreto. O comprimento do brise se estende pela fachada toda, com largura de 1,00m e com afastamento de 0,10m da janela. A figura 24 demonstra a vista de uma sala, como exemplo.

Figura 24 - Sala com brise



Fonte: autora (2020).

Os resultados das simulações estão classificados conforme quadro 10. Já no quadro 11, estão expressos os valores obtidos para a primeira simulação, sem brises e com taxa de renovação de ar de 1,0 ren/h.

Quadro 10 - Desempenho e temperatura

Desempenho	Verão	Inverno
Insuficiente	$t > 31,4^{\circ}\text{C}$	$t < 3,7^{\circ}\text{C}$
Mínimo	$31,4^{\circ}\text{C} > t > 29,4^{\circ}\text{C}$	$3,7^{\circ}\text{C} < t < 5,7^{\circ}\text{C}$
Intermediário	$29,4^{\circ}\text{C} > t > 27,4^{\circ}\text{C}$	$5,7^{\circ}\text{C} < t < 7,7^{\circ}\text{C}$
Superior	$t < 27,4^{\circ}\text{C}$	$t < 7,7^{\circ}\text{C}$

Fonte: autora (2020).

Quadro 11 – Resultado para simulação sem brise (1ren/h e cortina off)

SEM BRISE - ANO TODO 1ren/h + cortina off				SEM BRISE - ANO LETIVO 1ren/h + cortina off			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	27,63	30,35	30,91	SALA 01	27,63	30,35	30,91
SALA 02	28,52	28,99	29,28	SALA 02	27,27	27,65	28,09
SALA 03	27,62	30,26	30,89	SALA 03	27,62	30,26	30,89
SALA 04	28,41	28,94	29,17	SALA 04	27,14	27,54	27,94
SALA 05	27,54	29,51	30,44	SALA 05	27,54	29,51	30,44
SALA 06	28,58	29,18	29,32	SALA 06	27,31	27,80	28,12
SALA 07	28,16	32,91	33,23	SALA 07	26,95	31,14	31,99
SALA 08	26,96	33,96	34,45	SALA 08	25,58	31,69	32,61
SALA 09	-	30,18	31,16	SALA 09	-	28,88	30,27
SALA 10	26,93	33,91	34,26	SALA 10	25,53	31,64	32,10
SALA 11	30,79	31,32	31,69	SALA 11	29,70	30,21	30,79
SALA 12	26,96	32,49	32,73	SALA 12	25,73	30,51	31,34
SALA 13	-	31,47	31,52	SALA 13	-	30,44	30,67
INVERNO				INVERNO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	7,40	9,60	9,33	SALA 01	7,40	9,60	9,33
SALA 02	8,61	8,61	8,49	SALA 02	8,61	8,61	8,49
SALA 03	7,43	9,75	9,38	SALA 03	7,43	9,75	9,38
SALA 04	8,63	8,65	8,52	SALA 04	8,63	8,65	8,52
SALA 05	7,40	9,66	9,26	SALA 05	7,40	9,66	9,26
SALA 06	8,63	8,65	8,50	SALA 06	8,63	8,65	8,50
SALA 07	7,94	8,47	8,14	SALA 07	7,94	8,47	8,14
SALA 08	8,02	8,79	8,72	SALA 08	8,02	8,79	8,72
SALA 09	-	8,91	8,60	SALA 09	-	8,91	8,60
SALA 10	8,03	8,76	8,84	SALA 10	8,03	8,76	8,84
SALA 11	8,65	8,80	8,70	SALA 11	8,65	8,80	8,70
SALA 12	7,85	8,39	8,01	SALA 12	7,85	8,39	8,01
SALA 13	-	8,54	8,05	SALA 13	-	8,54	8,05

Fonte: autora (2020).

Como os valores para o verão não foram satisfatórios, seguiu-se de acordo com o item 11.5.2 da ABNT NBR 15575-1:2013, que permite simular novamente considerando três alterações. A primeira modificação é quanto a taxa de ventilação, ou seja, é considerado que será realizado 5 renovações de ar por hora, portanto todo o ar do ambiente será renovado 5 vezes a cada hora. O quadro 12 demonstra os valores obtidos quando é alterado a taxa de ventilação para 5,0r ren/h e sem cortinas.

Quadro 12 – Resultado para simulação sem brise (5ren/h e cortina off)

SEM BRISE - ANO TODO 5ren/h + cortina off				SEM BRISE - ANO LETIVO 5ren/h + cortina off			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	28,70	28,82	29,10	SALA 01	28,15	28,79	29,07
SALA 02	29,21	29,36	29,62	SALA 02	28,52	28,68	29,01
SALA 03	28,70	28,84	29,14	SALA 03	28,15	28,76	29,08
SALA 04	29,13	29,29	29,54	SALA 04	28,44	28,62	28,92
SALA 05	28,71	28,79	29,18	SALA 05	28,15	28,50	28,91
SALA 06	29,21	29,42	29,63	SALA 06	29,01	28,75	29,01
SALA 07	29,18	30,97	31,39	SALA 07	28,52	30,28	30,81
SALA 08	28,52	30,94	31,41	SALA 08	27,84	30,24	30,77
SALA 09	-	29,53	30,10	SALA 09	-	28,99	29,77
SALA 10	28,50	30,92	31,10	SALA 10	27,81	30,22	30,39
SALA 11	29,8	30,00	30,30	SALA 11	29,45	29,68	30,00
SALA 12	28,63	30,69	31,06	SALA 12	28,00	30,03	30,51
SALA 13	-	30,36	30,52	SALA 13	-	30,04	30,22

Fonte: autora (2020).

Diante dos resultados, ainda foi necessário simular novamente, desta vez com a segunda condição prevista pela norma: taxa de ventilação de 1,0 ren/h e com sombreamento. Este é equivalente a instalação de cortinas ou persianas, que bloqueiem pelo menos 50% dos raios solares. O quadro 13 apresenta estes valores.

Quadro 13 – Resultado para simulação sem brise (1ren/h e cortina on)

SEM BRISE - ANO TODO 1ren/h + cortina on				SEM BRISE - ANO LETIVO 1ren/h + cortina on			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	25,67	25,88	26,06	SALA 01	25,67	25,88	26,06
SALA 02	25,91	26,00	26,01	SALA 02	24,54	24,61	24,82
SALA 03	25,67	25,83	26,04	SALA 03	25,64	25,83	26,04
SALA 04	25,87	26,00	26,00	SALA 04	24,48	24,56	24,76
SALA 05	25,69	25,6	25,96	SALA 05	25,61	25,52	25,96
SALA 06	25,93	26,08	26,04	SALA 06	24,54	24,65	24,83
SALA 07	26,50	27,81	27,90	SALA 07	25,28	26,36	26,75
SALA 08	25,61	27,65	27,82	SALA 08	24,23	25,83	26,25
SALA 09	-	27,00	27,11	SALA 09	-	25,48	26,10
SALA 10	25,60	27,64	27,75	SALA 10	24,20	25,82	25,95
SALA 11	27,15	27,21	27,21	SALA 11	25,80	25,89	26,19
SALA 12	25,91	27,5	27,55	SALA 12	24,64	25,94	26,32
SALA 13	-	27,59	27,47	SALA 13	-	26,46	26,62

Fonte: autora (2020).

De forma a confirmar se o resultado poderia ser melhorado, foi realizado a terceira e última condição prevista para a simulação: taxa de ventilação de 5,0 ren/h e com cortinas. Os valores gerados estão no quadro 14.

Quadro 14 – Resultado para simulação sem brise (5,0 ren/h e cortina on)

SEM BRISE - ANO TODO 5ren/h + cortina on				SEM BRISE - ANO LETIVO 5ren/h + cortina on			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	28,07	27,84	28,04	SALA 01	27,51	27,13	27,45
SALA 02	27,99	28,01	28,2	SALA 02	27,26	27,27	27,58
SALA 03	28,07	27,85	28,05	SALA 03	27,51	27,14	27,46
SALA 04	27,96	27,98	28,18	SALA 04	27,22	27,24	27,55
SALA 05	28,07	27,81	28,09	SALA 05	27,51	27,09	27,49
SALA 06	27,99	28,03	28,21	SALA 06	27,26	27,30	27,59
SALA 07	28,31	28,81	29,07	SALA 07	27,62	28,12	28,49
SALA 08	27,83	28,50	28,79	SALA 08	27,1	27,78	28,15
SALA 09	-	28,16	28,57	SALA 09	-	27,63	28,00
SALA 10	27,82	28,5	28,55	SALA 10	27,09	27,78	27,83
SALA 11	28,37	28,41	28,61	SALA 11	27,84	27,87	28,03
SALA 12	28,02	28,63	28,87	SALA 12	27,35	27,95	28,31
SALA 13	-	28,71	28,85	SALA 13	-	28,17	28,28

Fonte: autora (2020).

Foi realizada a simulação para a edificação com brises, considerando a mesma condição da primeira simulação anterior: taxa de renovação de 1ren/h e sem cortinas. O resultado está expresso no quadro 15.

Quadro 15 - Resultado para simulação com brise (1,0 ren/h e cortina off)

BRISE ORIGINAL - ANO TODO 1ren/h + cortina off			
VERÃO			
	1°	2°	3°
SALA 01	27,63	30,35	30,91
SALA 02	28,5	28,97	29,27
SALA 03	27,62	30,26	30,89
SALA 04	28,38	28,91	29,16
SALA 05	27,54	29,5	30,44
SALA 06	28,55	29,16	29,31
SALA 07	28,20	32,75	33,13
SALA 08	27,05	33,78	34,34
SALA 09	-	30,08	31,17
SALA 10	27,02	33,71	34,14
SALA 11	30,68	31,25	31,73
SALA 12	27,04	32,38	32,67
SALA 13	-	31,08	31,32

BRISE ORIGINAL - ANO LETIVO 1ren/h + cortina off			
VERÃO			
	1°	2°	3°
SALA 01	27,63	30,35	30,91
SALA 02	27,27	27,65	28,09
SALA 03	27,62	30,26	30,89
SALA 04	27,14	27,54	27,94
SALA 05	27,54	29,50	30,44
SALA 06	27,31	27,80	28,12
SALA 07	27,01	30,97	31,89
SALA 08	25,71	31,52	32,48
SALA 09	-	28,82	30,29
SALA 10	25,64	31,45	31,98
SALA 11	29,62	30,15	30,82
SALA 12	25,83	30,41	31,28
SALA 13	-	30,02	30,47

INVERNO			
	1°	2°	3°
SALA 01	7,40	9,60	9,33
SALA 02	8,61	8,61	8,49
SALA 03	7,43	9,75	9,38
SALA 04	8,63	8,65	8,52
SALA 05	7,40	9,66	8,26
SALA 06	8,63	8,65	8,50
SALA 07	7,95	8,44	8,12
SALA 08	8,04	8,76	8,70
SALA 09	-	8,88	8,59
SALA 10	8,05	8,73	8,82
SALA 11	8,64	8,79	8,69
SALA 12	7,88	8,38	8,00
SALA 13	-	8,49	8,03

INVERNO			
	1°	2°	3°
SALA 01	7,40	9,60	9,33
SALA 02	8,61	8,61	8,49
SALA 03	7,43	9,75	9,38
SALA 04	8,63	8,65	8,52
SALA 05	7,40	9,66	9,26
SALA 06	8,63	8,65	8,50
SALA 07	7,95	8,44	8,12
SALA 08	8,04	8,76	8,70
SALA 09	-	8,88	8,59
SALA 10	8,05	8,73	8,82
SALA 11	8,46	8,79	8,69
SALA 12	7,88	8,38	8,00
SALA 13	-	8,49	8,03

Fonte: autora (2020).

Diante dos valores obtidos, ainda foi necessário seguir com o item 11.5.2 da ABNT NBR 15575-1:2013, e foi simulado com as 3 condições permitidas pela norma, a fim de melhorar os valores para o verão. O quadro 16 demonstra os resultados para as três simulações.

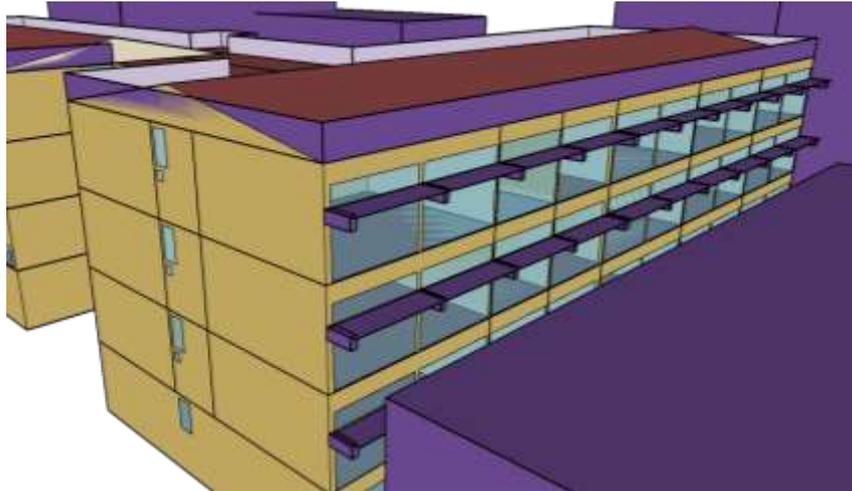
Quadro 16 -Resultado para simulações com brise

		Ano todo 5ren/h + cortina off			Ano letivo 5ren/h + cortina off			Ano todo 1ren/h + cortina on			Ano letivo 1 ren/h + cortina on			Ano inteiro 5ren/h + cortina on			Ano letivo 5ren/h + cortina on		
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
VERÃO	SALA 01	28,70	28,82	29,10	28,15	28,79	29,07	25,67	25,88	26,06	25,67	25,88	26,06	28,07	27,84	28,04	27,51	27,13	27,45
	SALA 02	29,21	29,36	29,62	28,52	28,68	29,01	25,90	26,00	26,01	24,54	24,61	24,82	27,99	28,01	28,20	27,26	27,27	27,58
	SALA 03	28,70	28,83	29,14	28,14	28,76	29,08	25,67	25,83	26,04	25,64	25,83	26,04	28,06	27,85	28,05	27,51	27,14	27,46
	SALA 04	29,13	29,29	29,54	28,44	28,61	28,92	25,86	25,99	25,99	24,48	24,56	24,76	27,96	27,98	28,18	27,22	24,24	27,55
	SALA 05	29,21	28,79	29,18	28,15	28,50	28,91	25,69	25,58	25,96	25,61	25,52	25,96	28,07	27,81	28,09	27,51	27,09	27,49
	SALA 06	28,58	29,42	29,63	28,53	28,74	29,01	25,92	26,07	26,04	24,54	24,65	24,83	27,99	28,03	28,21	27,26	27,30	27,59
	SALA 07	28,55	30,88	31,32	28,55	30,21	30,76	26,50	27,74	27,85	25,30	26,30	26,71	28,32	28,79	29,05	27,63	28,09	28,47
	SALA 08	29,77	30,87	31,35	27,90	30,16	30,73	25,64	27,58	27,77	24,27	25,78	26,21	27,85	28,48	28,77	27,12	27,75	28,14
	SALA 09	-	29,51	30,11	-	28,98	29,79	-	26,97	27,12	-	25,47	26,12	-	28,16	28,58	-	27,63	28,01
	SALA 10	28,55	30,84	31,05	27,87	30,14	30,34	25,64	27,57	27,70	24,24	25,76	25,91	27,83	28,48	28,53	27,11	27,74	27,81
	SALA 11	29,77	29,98	30,32	29,42	29,67	30,03	27,11	27,20	27,24	25,78	25,90	26,23	28,37	28,41	28,62	27,84	27,87	28,05
	SALA 12	28,68	30,64	31,03	28,05	29,98	30,49	25,93	27,46	27,53	24,65	26,34	26,30	28,04	28,61	28,86	27,37	27,93	28,30
	SALA 13	-	30,15	30,42	-	29,84	30,12	-	27,42	27,39	-	26,06	26,56	-	28,64	28,82	-	28,09	28,24

Fonte: autora (2020).

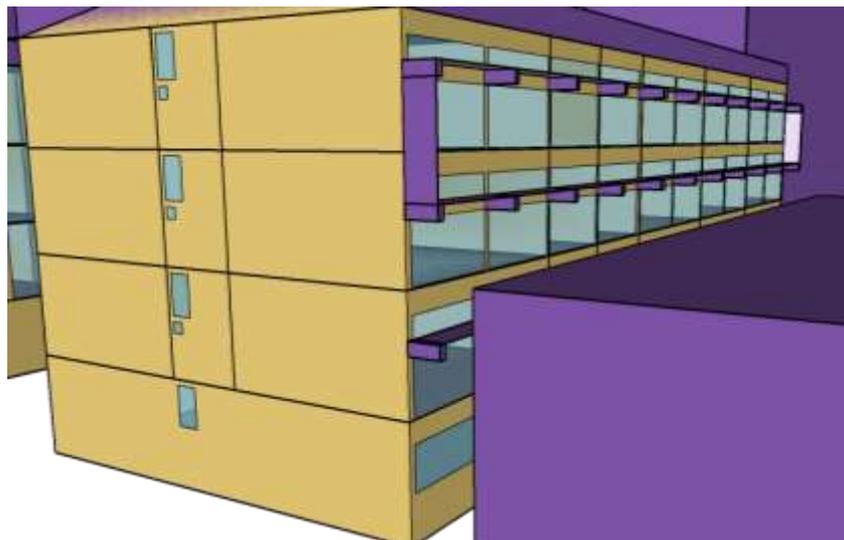
Diante dos resultados, nota-se que os brises não são totalmente efetivos para o verão, e que as temperaturas internas não estão menores quando comparados com os valores da simulação sem brise. Portanto, foi realizado mais duas simulações com os brises: aumentando a largura do brise para 1,20m, e outra com o acréscimo de um brise vertical. As figuras 25 e 26 ilustram as descrições.

Figura 25 - Brise de 1,20m



Fonte: autora (2020)

Figura 26 - Brise vertical



Fonte: autora (2020)

Foram realizadas simulações apenas para a condição da taxa de renovação de 1ren/h, alterando apenas a presença da cortina. Os resultados estão no quadro 17.

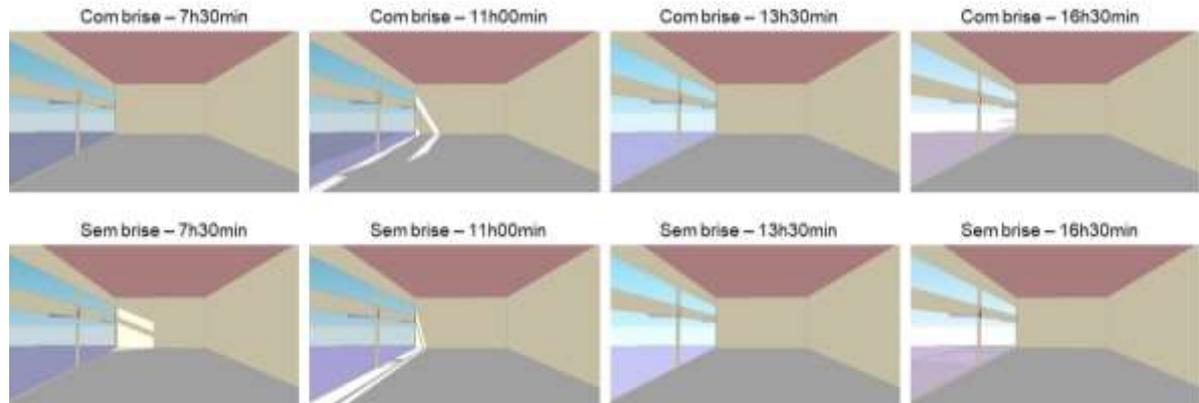
Quadro 17 - Resultados para brise de 1,20m e vertical

		Brise 1,20m – Ano todo – 1ren/h e cortina off			Brise 1,20m – Ano todo – 1ren/h e cortina on			Brise vertical – Ano todo – 1ren/h e cortina off			Brise vertical – Ano todo – 1ren/h e cortina on		
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
VERÃO	SALA 01	27,63	30,35	30,91	25,67	25,88	26,06	27,63	30,35	30,91	25,67	25,88	26,06
	SALA 02	28,50	28,97	29,27	25,90	26,00	26,01	28,5	28,97	29,27	25,90	26,00	26,01
	SALA 03	27,62	30,26	30,89	25,67	25,83	26,04	27,62	30,26	30,89	25,67	25,83	26,04
	SALA 04	28,38	28,91	29,16	25,86	25,99	25,99	28,38	28,91	29,16	25,86	25,99	25,99
	SALA 05	27,54	29,50	30,44	25,69	25,58	25,96	27,54	29,50	30,44	25,69	25,58	25,96
	SALA 06	28,55	29,16	29,31	25,92	26,07	26,04	28,55	29,16	29,31	25,92	26,07	26,04
	SALA 07	28,20	32,75	33,12	26,50	27,74	27,85	28,20	32,75	33,09	26,50	27,74	27,84
	SALA 08	27,05	33,78	34,33	25,64	27,59	27,77	27,05	33,78	34,34	25,64	27,58	27,77
	SALA 09	-	30,08	31,17	-	26,97	27,12	-	30,08	31,17	-	26,97	27,12
	SALA 10	27,02	33,71	34,13	25,63	27,57	27,70	27,02	33,71	34,14	25,64	27,57	27,70
	SALA 11	30,67	31,25	31,73	27,11	27,20	27,24	30,68	31,25	31,73	27,11	27,2	27,24
	SALA 12	27,04	32,38	32,66	25,93	27,46	27,53	27,04	32,38	32,66	25,93	27,46	27,53
	SALA 13	-	31,02	31,32	-	27,4	27,39	-	31,07	31,32	-	27,42	27,39
INVERNO		1°	2°	3°	Simulação válida apenas para verão, conforme item 11.5.2 da ABNT NBR 15575:2013			1°	2°	3°	Simulação válida apenas para verão, conforme item 11.5.2 da ABNT NBR 15575:2013		
	SALA 01	7,40	9,60	9,33				7,40	9,60	9,33			
	SALA 02	8,61	8,61	8,49				8,61	8,61	8,49			
	SALA 03	7,43	9,75	9,38				7,43	9,75	9,38			
	SALA 04	8,63	8,65	8,52				8,63	8,65	8,52			
	SALA 05	7,40	9,66	9,26				7,40	9,66	9,26			
	SALA 06	8,63	8,65	8,50				8,63	8,65	8,50			
	SALA 07	7,95	8,44	8,12				7,95	8,44	8,12			
	SALA 08	8,04	8,76	8,70				8,04	8,76	8,70			
	SALA 09	-	8,88	8,59				-	8,88	8,59			
	SALA 10	8,05	8,73	8,82				8,05	8,73	8,82			
	SALA 11	8,64	8,79	8,70				8,64	8,79	8,69			
	SALA 12	7,88	8,38	8,00				7,88	8,38	8,00			
SALA 13	-	8,49	8,04	-	8,49	8,03							

Fonte: autora (2020).

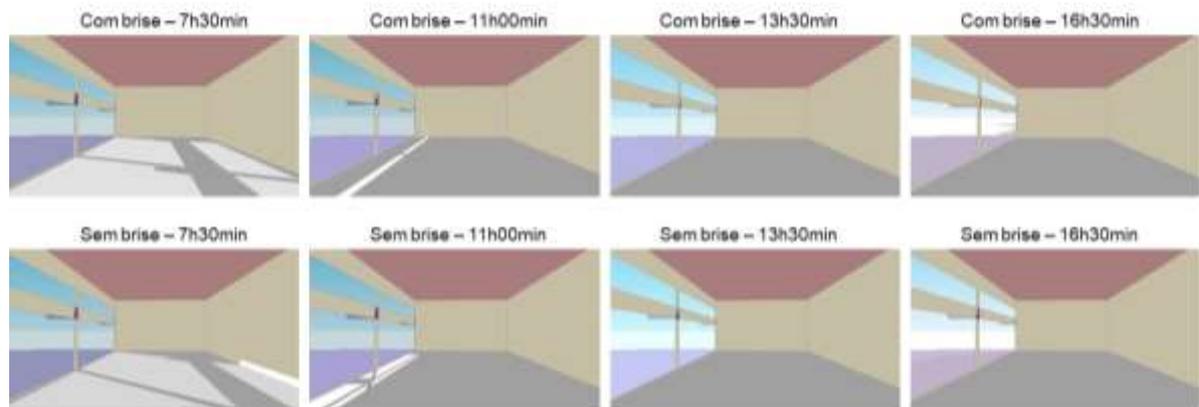
Em vista que os resultados das simulações com brises não eram afetados, foi realizado um teste para ver qual o sombreamento nas salas de aula. Para isso, foi utilizado o *software Sketch-Up* com o recurso de sombreamento. Conforme as figuras 27, 28, 29 e 30, nota-se que o sombreamento de dentro das salas não é influenciado pelo brise, e sim pela viga entre as janelas.

Figura 27 – Sombreamento interno para sala frente leste no inverno



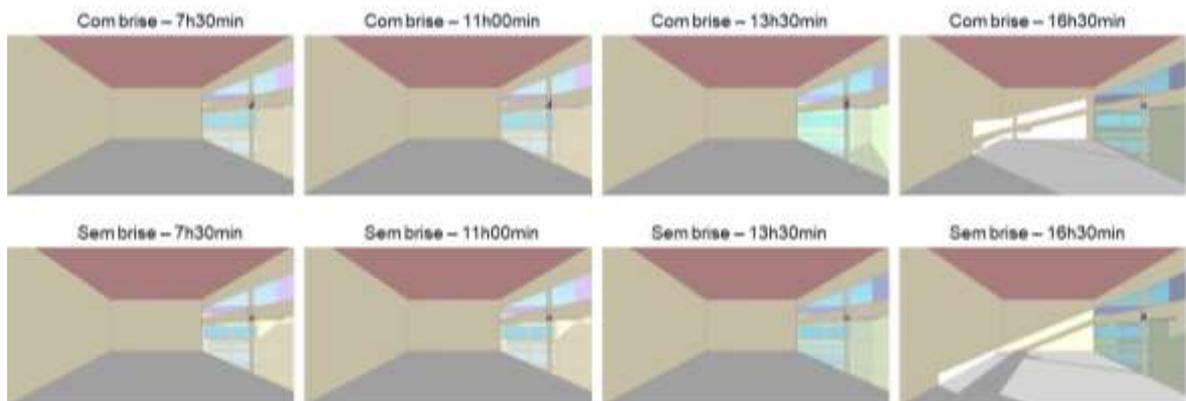
Fonte: autora (2020).

Figura 28 – Sombreamento interno para sala frente leste no verão



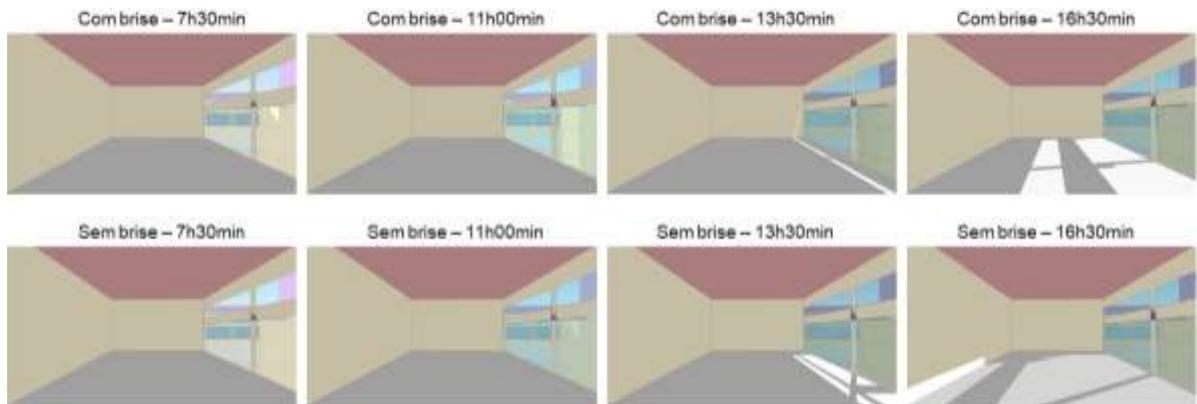
Fonte: autora (2020).

Figura 29 – Sombreamento interno para sala frente oeste no inverno



Fonte: autora (2020).

Figura 30 – Sombreamento interno para sala frente oeste no verão



Fonte: autora (2020).

Desta forma, foi pensado em outras maneiras de obter o desempenho superior, sem que fosse necessário colocar os brises. Foi simulado, então, com uma manta térmica, feita de feltro de lã de vidro aglomerado, com resina sintética e revestido nas duas faces. Esta foi utilizada no telhado. Os resultados desta simulação estão no quadro 18. Os valores com as adequações sugeridas pela norma de desempenho, para o verão estão no quadro 19.

Quadro 18 - Resultados para manta térmica

(continua)

MANTA TÉRMICA - ANO TODO 1ren/h + cortina off				MANTA TÉRMICA - ANO LETIVO 1ren/h + cortina off			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	27,69	30,37	30,95	SALA 01	27,66	30,37	30,95
SALA 02	28,55	29,09	29,32	SALA 02	27,30	27,73	28,13
SALA 03	27,67	30,31	30,90	SALA 03	27,67	30,31	30,90
SALA 04	28,43	29,00	29,22	SALA 04	27,16	27,60	27,99
SALA 05	27,60	29,57	30,44	SALA 05	27,60	29,57	30,44
SALA 06	28,60	29,24	29,36	SALA 06	27,33	27,85	28,17
SALA 07	28,17	32,93	33,26	SALA 07	26,96	31,15	32,02
SALA 08	26,96	33,98	34,46	SALA 08	25,58	31,71	32,62
SALA 09	-	30,18	31,16	SALA 09	-	28,89	30,28
SALA 10	26,93	33,92	34,28	SALA 10	25,53	31,65	32,11
SALA 11	30,81	31,32	31,70	SALA 11	29,73	30,22	30,80
SALA 12	26,97	32,51	32,75	SALA 12	25,73	30,52	31,36
SALA 13	-	31,46	31,52	SALA 13	-	30,43	30,67

(conclusão)

INVERNO				INVERNO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	7,42	9,58	9,33	SALA 01	7,42	9,58	9,33
SALA 02	8,62	8,63	8,49	SALA 02	8,62	8,63	8,49
SALA 03	7,44	9,73	9,36	SALA 03	7,44	9,73	9,36
SALA 04	8,64	8,66	8,53	SALA 04	8,64	8,66	8,53
SALA 05	7,42	9,62	8,25	SALA 05	7,42	9,62	8,25
SALA 06	8,64	8,66	8,52	SALA 06	8,64	8,66	8,52
SALA 07	7,95	8,47	8,14	SALA 07	7,95	8,47	8,14
SALA 08	8,03	8,79	8,72	SALA 08	8,03	8,79	8,72
SALA 09	-	8,91	8,60	SALA 09	-	8,91	8,60
SALA 10	8,04	8,76	8,84	SALA 10	8,04	8,76	8,84
SALA 11	8,66	8,81	8,70	SALA 11	8,66	8,81	8,70
SALA 12	7,85	8,40	8,01	SALA 12	7,85	8,40	8,01
SALA 13	-	8,54	8,06	SALA 13	-	8,54	8,06

Fonte: autora (2020).

Quadro 19 -Resultado para simulações com manta térmica

		Ano todo 5ren/h + cortina off			Ano letivo 5ren/h + cortina off			Ano todo 1ren/h + cortina on			Ano letivo 1 ren/h + cortina on			Ano inteiro 5ren/h + cortina on			Ano letivo 5ren/h + cortina on		
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
VERÃO	SALA 01	28,72	28,85	29,12	28,16	28,79	29,09	27,69	30,37	30,95	25,73	25,93	26,10	28,08	27,86	28,05	27,51	27,15	27,46
	SALA 02	29,22	29,40	29,64	28,55	28,74	29,03	27,30	27,73	28,13	24,54	24,63	24,83	28,00	28,02	28,22	27,26	27,28	27,59
	SALA 03	28,71	28,87	29,15	28,15	28,77	29,08	27,67	30,31	30,90	25,69	25,88	26,07	28,07	27,87	28,06	27,51	27,15	27,46
	SALA 04	29,14	29,32	29,56	28,47	28,66	28,94	27,16	27,60	27,99	24,48	24,58	24,77	27,97	28,00	28,19	27,22	27,25	27,56
	SALA 05	28,72	28,83	29,18	28,15	28,52	28,91	27,60	29,57	30,44	25,67	24,57	25,98	28,08	27,82	28,1	27,51	27,11	27,50
	SALA 06	29,23	29,44	29,65	28,56	28,79	29,03	27,33	27,85	28,17	25,54	24,67	24,84	28,00	28,04	28,22	27,26	27,30	27,60
	SALA 07	29,19	30,98	31,4	28,52	30,29	30,81	29,96	31,15	32,02	25,29	26,37	26,76	28,32	28,82	29,08	27,62	28,12	28,50
	SALA 08	28,53	30,94	31,41	27,84	30,25	30,77	25,58	31,71	32,62	24,53	25,83	26,25	27,83	28,51	28,79	27,11	27,78	28,15
	SALA 09	-	29,54	30,11	-	29,00	29,78	-	28,89	30,28	-	25,49	26,11	-	28,17	28,57	-	27,65	28,02
	SALA 10	26,93	30,92	31,1	25,53	30,23	30,41	25,53	31,65	32,11	24,20	25,82	25,96	25,61	28,5	28,55	24,20	27,78	27,83
	SALA 11	29,82	30,01	30,31	29,46	29,69	30,00	29,73	30,22	30,80	25,82	25,9	26,21	28,38	28,41	28,61	28,87	27,89	28,05
	SALA 12	28,64	30,7	31,07	28,00	30,03	30,51	25,73	30,52	31,36	24,65	25,94	26,34	28,03	28,63	28,88	27,35	27,95	28,32
	SALA 13	-	30,36	30,53	-	30,04	30,22	-	30,43	30,67	-	26,48	26,64	-	28,71	28,86	-	28,19	28,30

Fonte: autora (2020).

A outra sugestão de adaptação construtiva, foi a de utilizar vidros duplos para as salas de aula. Os valores obtidos estão no quadro 20, e no quadro 21 com as adequações para o verão.

Quadro 20 - Resultados para vidro duplos

VIDRO DUPLO - ANO TODO 1ren/h + cortina off				VIDRO DUPLO - ANO LETIVO 1ren/h + cortina off			
VERÃO				VERÃO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	27,45	30,36	30,99	SALA 01	27,45	30,36	30,99
SALA 02	28,78	29,39	29,67	SALA 02	27,31	27,81	28,23
SALA 03	27,44	30,29	30,94	SALA 03	27,44	30,29	30,94
SALA 04	28,64	29,27	29,52	SALA 04	27,15	27,66	28,05
SALA 05	27,38	29,57	30,53	SALA 05	27,38	29,57	30,53
SALA 06	28,83	29,55	29,71	SALA 06	27,35	27,94	28,25
SALA 07	28,29	33,27	33,61	SALA 07	26,81	31,17	31,96
SALA 08	27,06	34,71	35,26	SALA 08	25,35	32,02	32,97
SALA 09	-	30,48	31,48	SALA 09	-	28,92	30,40
SALA 10	27,03	34,64	35,05	SALA 10	25,30	31,95	32,44
SALA 11	31,06	31,67	32,10	SALA 11	29,73	30,32	31,00
SALA 12	27,02	32,79	33,05	SALA 12	25,52	30,48	31,14
SALA 13	-	31,56	31,63	SALA 13	-	30,99	30,66

INVERNO				INVERNO			
	1°	2°	3°		1°	2°	3°
SALA 01	7,74	10,25	10,22	SALA 01	7,74	10,25	10,22
SALA 02	9,09	9,15	9,04	SALA 02	9,09	9,15	9,04
SALA 03	7,78	10,4	10,35	SALA 03	7,78	10,4	10,35
SALA 04	9,08	9,14	9,04	SALA 04	9,08	9,14	9,04
SALA 05	7,80	10,29	10,24	SALA 05	7,80	10,29	10,24
SALA 06	9,11	9,17	9,05	SALA 06	9,11	9,17	9,05
SALA 07	8,25	8,90	8,80	SALA 07	8,25	8,90	8,80
SALA 08	8,35	9,33	9,27	SALA 08	8,35	9,33	9,27
SALA 09	-	9,37	9,10	SALA 09	-	9,37	9,10
SALA 10	8,35	9,29	9,38	SALA 10	8,35	9,29	9,38
SALA 11	9,09	9,31	9,25	SALA 11	9,09	9,31	9,25
SALA 12	8,18	8,81	8,69	SALA 12	8,18	8,81	8,69
SALA 13	-	8,93	8,75	SALA 13	-	8,93	8,75

Fonte: autora (2020).

Quadro 21 -Resultado para simulações com vidro duplo

		Ano todo 5ren/h + cortina off			Ano letivo 5ren/h + cortina off			Ano todo 1ren/h + cortina on			Ano letivo 1 ren/h + cortina on			Ano inteiro 5ren/h + cortina on			Ano letivo 5ren/h + cortina on		
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
VERÃO	SALA 01	28,61	28,72	29,01	28,04	28,58	28,87	26,54	27,07	27,33	26,54	27,07	27,33	28,1	27,89	28,12	27,55	27,21	27,52
	SALA 02	29,08	29,26	29,51	28,39	28,57	28,86	26,42	26,66	26,71	24,73	24,90	25,13	28,07	28,13	28,34	27,32	27,38	27,71
	SALA 03	28,6	28,75	29,04	28,03	28,5	28,87	26,49	27,01	27,29	26,46	27,01	27,29	28,1	27,91	28,14	27,55	27,21	27,54
	SALA 04	29,00	29,18	29,43	28,31	28,36	28,77	26,37	26,63	26,67	24,66	24,84	25,07	28,04	28,1	28,31	27,28	27,35	27,68
	SALA 05	28,61	28,71	29,08	28,4	28,62	28,71	26,46	26,61	27,12	26,46	26,61	27,17	28,11	27,87	28,19	27,55	27,15	27,58
	SALA 06	29,09	29,30	29,52	28,38	30,09	28,86	26,45	26,75	26,75	24,74	24,96	25,16	28,08	28,16	28,36	27,32	27,41	27,72
	SALA 07	29,07	30,78	31,18	27,68	30,04	30,57	26,89	29,51	29,66	25,31	27,25	27,75	28,32	29,04	29,32	27,62	28,34	28,74
	SALA 08	28,4	30,73	31,18	27,66	28,85	30,5	25,94	29,59	29,84	24,09	26,86	27,32	27,78	28,73	29,05	27,05	27,98	28,4
	SALA 09	-	29,39	29,96	-	30,02	29,56	-	28,07	28,27	-	26,33	27,11	-	28,42	28,85	-	27,96	28,37
	SALA 10	28,38	30,71	30,88	29,24	29,46	30,18	25,92	29,56	29,74	24,07	26,83	27,01	27,77	28,72	28,79	27,04	27,97	28,05
	SALA 11	29,67	29,85	30,15	27,87	29,9	29,78	28,24	28,42	28,51	26,7	26,92	27,34	28,63	28,7	28,94	28,19	28,25	28,44
	SALA 12	28,53	30,5	30,86	28,59	29,79	30,27	26,14	29,11	29,21	24,54	26,83	27,28	27,99	28,82	29,09	27,31	28,13	28,52
	SALA 13	-	30,17	30,36	-	28,87	29,99	-	28,78	28,67	-	27,5	27,71	-	29,04	29,2	-	28,60	28,71

Fonte: autora (2020).

#### 4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que houveram variações nas temperaturas internas em todas as simulações. Como foram realizadas seis alterações construtivas, o quadro 22, resume a porcentagem de salas que obtiveram desempenho superior para cada simulação.

Quadro 22 - Resumo simulações

Simulação	Inverno ano todo	Inverno ano letivo	Verão ano todo	Verão ano letivo
Sem brise	91,9%	91,9%	73,0%	100%
Brise 1,00m	91,9%	91,9%	75,7%	100%
Brise 1,20m	91,9%	91,9%	75,7%	100%
Brise vertical	91,9%	91,9%	75,7%	100%
Manta térmica	91,9%	91,9%	16,2%	100%
Vidro duplo	100%	100%	59,5%	91,9%

Fonte: autora (2020).

Diante do exposto, fica claro a necessidade de avaliar a edificação dentro do período em que a mesma será utilizada, visto que, ao contrário das residências, haverá períodos em que não terá nenhum usuário na edificação. Com o refinamento dos dados, percebe-se que o desempenho para o verão não se enquadra como superior, entretanto, quando a edificação está em uso, isto é, no período letivo, para quase todas as simulações, todas as salas apresentam desempenho superior.

Como citado no item anterior, o acréscimo dos brises não resultou em melhora do desempenho térmico para a edificação, e nem tem o papel de sombreamento para as salas de aula. Visto que o colégio está localizado entre outras construções, estas fazem o papel de sombreamento, não sendo necessário, portanto, esta mudança arquitetônica. Quanto ao acréscimo de uma manta térmica, a mesma não resulta em diferenças significativas para a edificação, e pode não ser compensado o valor de investimento para tal.

A sugestão que melhor se adaptou ao caso de estudo é a de colocar vidros duplos, pois, além da melhora do desempenho térmico no verão, também trouxe para o inverno um desempenho superior nas 37 salas de aula, visto que este é o período mais crítico para a região. Ressalta-se também, que como a edificação já possui sistemas de ar condicionado, com os vidros duplos, pode ser melhorado a eficácia deste sistema, a até reduzir o valor gasto com energia, tanto para verão quanto para o inverno.

## 5 CONCLUSÃO

A qualidade de uma edificação está relacionada diretamente com o seu desempenho, e é neste âmbito que a ABNT NBR 15575 exerce seu papel. Mesmo que ainda não seja exigida para todas as tipologias construtivas, fica claro a necessidade de conhecer e aplicar tal norma.

A partir do objetivo proposto, realizou-se diversas simulações termoenergéticas, de forma a obter-se a melhor proposta arquitetônica que obtivesse o nível superior para o desempenho das salas de aula. Isto posto, conclui-se que, considerando o período letivo e a utilização das cortinas existentes, 91,9% das salas de aula têm desempenho superior para o inverno, e 100% para o verão.

Percebe-se, também, a necessidade de pensar em cada edificação como única, e levar em conta as alterações que o entorno sofre. A utilização de brises, que já tinha sido implantada uma vez, não é eficaz, como foi mostrado anteriormente. Além de ser um elemento que demandava manutenção, ao passar do tempo, por serem telhas translúcidas, ficou com aspecto sujo e não eram eficazes, visto que as edificações vizinhas fazem o papel de sombreamento para a edificação de estudo.

Por isso a alteração arquitetônica a ser implantada, deve ser avaliada levando em conta, também, o custo e a viabilidade para a alteração. A utilização de vidros duplos pode ser uma boa opção, já que melhora o desempenho térmico para o inverno, que é a pior estação para a zona bioclimática em que está inserida. Além disso, a edificação conta com sistema de ar condicionado, e poderia ser melhorado o gasto energético para este sistema.

A vantagem de utilizar a simulação energética para edificações existentes, é que, com a edificação modelada com o *Sketch-Up* e o *Energyplus*, é possível testar diversos materiais e adequações projetuais, de forma a encontrar a que melhor se encaixa para necessidade. Assim, pode-se simular com as diversas opções do mercado e fazer uma avaliação de custo benefício para a implantação.

Entretanto, o estudo da edificação apenas quanto ao desempenho térmico não é suficiente, por isso sugere-se a continuidade deste trabalho, de forma a aprofundar o tema, como por exemplo:

- a) Integrar os demais eixos da norma de desempenho, como o conforto acústico e lumínico;
- b) Realizar outras simulações complementares, como por exemplo, incluindo os sistemas de ar condicionado, e/ou simulando com a presença dos usuários da edificação;
- c) Viabilidade econômica da adequação arquitetônica;
- d) Avaliação de projetos de eficiência energética para o colégio em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: 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, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

BABICK, Cláudia Silva; TORRES, Maurício Carvalho Ayres. **Análise do desempenho térmico, lumínico e de ventilação natural de projeto padrão de edifício escolar do FNDE de acordo com os requisitos de normas e referenciais nacionais e internacionais nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 4, n. 2, p. 110-128, dez. 2017. ISSN 2358-6508. Disponível em: <<https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/2283>>. Acesso em: 26 maio 2020.

BALTAR, Marta Garcia. **Redução da demanda de energia elétrica utilizando parâmetros construtivos visando ao conforto térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BELTRAME, Mauria Bontorin; MOURA, Graziella Ribeiro Soares. **Edificações escolares:** infra-estrutura necessária ao processo de ensino e aprendizagem escolar. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/travessias/article/view/3378/2663>>. Acesso em: 31 out. 2020.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** Dissertação (Mestrado-Departamento de Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-25092008-094741/pt-br.php>>. Acesso em 12 abr. 2020

BUONOCORE, Carolina de Oliveira. **Análise das condições de conforto térmico no clima quente e úmido de São Luís (MA):** estudos de campo em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198376>>. Acesso em 15 mar. 2020

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** 2.ed. Fortaleza, CE: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais.** Dissertação (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Joyce\\_Correna\\_Carlo.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Joyce_Correna_Carlo.pdf)> Acesso em 17 mar. 2020.

ELALI, Gleice Azambuja. **O ambiente da escola: uma discussão sobre a relação escola-natureza em educação infantil.** Estud. psicol., vol. 8, n.2, p.309-319. Natal, 2003. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1413-294x2003000200013&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1413-294x2003000200013&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em 31 out. 2020.

ENIC. **Encontro nacional da indústria da construção civil.** Rio de Janeiro, 2019.

FANGER, P.O. **Assessment of man's thermal comfort in practice.** British Journal of Industrial Medicine, 1973.

FERREIRA, Fernanda Cristina. **Procedimentos de avaliação de conforto ambiental e eficiência energética aplicados a um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/RAAO-72KH86> >. Acesso em 29 mar. 2020

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** 5.ed. São Paulo, SP: Studio Nobel, 2001.

GOVERNO FEDERAL. **Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H.** Brasília, 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Programa-Brasileiro-de-Qualidade-e-Produtividade-do-Habitat.pdf>>. Acesso em 11 abr. 2020.

\_\_\_\_\_. **Regime Geral:** regimento específico da especialidade técnica execução de obras. Brasília, 2017. Disponível em: <[http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos\\_siac.php](http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_siac.php)>. Acesso em 06 maio 2020.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho térmico de edificações.** LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf)>. Acesso em 22 mar. 2020

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3.ed. Rio de Janeiro, RJ: Eletrobras/Procel, 2014. Disponível em:

<[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf)>. Acesso em 17 mar. 2020

LIMA, Tomás. **Novo regimento do SiAC/PBQP-h**: saiba o que mudou. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/novo-regimento-do-siac/>>. Acesso em 6 maio 2020.

MELO, M. Eng. Ana Paula; WESTPHAL, Dr. Eng. Fernando Simon; MATOS, M. Eng. Michele. **Apostila do curso básico do programa *EnergyPlus***. LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202\\_Apostila\\_EnergyPlus\\_0.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf)>. Acesso em 31 mar. 2020

MIRANDA, Pauline Vielmo; PEREIRA, Ascísio dos Reis; RISSETTI, Gustavo. **A influência do ambiente escolar no processo de aprendizagem de escolas técnicas**. II Fórum Internacional de Educação. Santa Cruz do Sul, 2016. Disponível em: <<https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sepedu/article/view/14918>>. Acesso em 28 out. 2020

MOTA, Raquel Ramos Silveira da. **Análise das condições de uso e ocupação de HIS, localizadas na cidade de Pelotas – ZB2, preconizadas no RTQ-R no método de simulação computacional**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, 2016.

NETO, Celso de Sampaio Amaral; NETO, João Freire d'Avila; NETO, Francisco Maia; VITALE, Olivar. **Norma de desempenho**: um marco regulatório na construção civil. 2016.

NUDEL, Marcelo. **Desempenho térmico sob a ótica da norma de desempenho NBR. 15.575**: guia prático para contratação, gerenciamento e aplicação em projetos. Disponível em: <[https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/05/Ebook-desempenho-termico-sob-a-otica-da-nbr-15575.pdf?utm\\_campaign=ebook\\_ca2\\_desempenho\\_termico&utm\\_medium=email&utm\\_source=RD+Station](https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/05/Ebook-desempenho-termico-sob-a-otica-da-nbr-15575.pdf?utm_campaign=ebook_ca2_desempenho_termico&utm_medium=email&utm_source=RD+Station)>. Acesso em 17 jun. 2020

ORDENES, Martín et al. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no Visualdoe-3.1**. LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://labeee.ufsc.br/node/266>>. Acesso em 19 set. 2020

OKAMOTO, Patricia Seiko. **Os impactos da norma brasileira de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado-Departamento de Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19072016-083350/pt-br.php>>. Acesso em 6 abr. 2020

PAES, R.F.S.; BASTOS, L.E.G. **Qualidade ambiental na edificação: o caso das escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro**. Paranoá, Brasília, nº 12, p. 131-140, 2014. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/231228553.pdf>>. Acesso em 04 ago. 2020

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica**. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16042007-154420/pt-br.php>>. Acesso em 16 abr. 2020

PROJETEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. **Dados Climáticos para Bento Gonçalves/RS**. Disponível em: <[http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS-Bento%20Gon%C3%A7alves&id\\_cidade=bra\\_rs\\_bento.goncalves.869790\\_inmet](http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=RS-Bento%20Gon%C3%A7alves&id_cidade=bra_rs_bento.goncalves.869790_inmet)>. Acesso em 5 maio 2020

\_\_\_\_\_. **Glossário NBR 15220**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/glossario/nbr-15220/>>. Acesso em 21 abr. 2020

POUEY, Juliana Al-Alam. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação por simulação computacional**. Dissertação

(Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, 2011. Disponível em: < <https://wp.ufpel.edu.br/prograu/dissertacoes-conforto-e-sustentabilidade-do-ambiente-construido/3/> >. Acesso em 6 abr. 2020

SILVA, Patrícia Manuela Almeida. **Aplicação do programa EnergyPlus como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edifícios de habitação.** Tese de mestrado integrado. Engenharia Civil (Especialização em Construções). Faculdade de Engenharia. Universidade de Porto, 2010. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58114>>. Acesso em 26 out. 2020.

SOARES, Maicon Motta. **Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575/2013:** habitações de interesse social na zona bioclimática 2. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/bitstream/prefix/5189/1/Maicon\\_Motta\\_Soares\\_Dissertacao.pdf](http://repositorio.ufpel.edu.br:8080/bitstream/prefix/5189/1/Maicon_Motta_Soares_Dissertacao.pdf)>. Acesso em 5 maio 2020.

RITTER, Viviane Mülech. **Avaliação das condições de conforto térmico, lumínico e acústico no ambiente escolar, no período do inverno:** o caso do Campus Pelotas Visconde da Graça. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2014. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpel.edu.br/handle/prefix/5195> >. Acesso em 6 abr. 2020

RORIZ, Prof. Dr. Maurício. **Arquitetura bioclimática:** conforto térmico em edificações. Apostila do II Fórum Pró-Sustentabilidade, Faculdade Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2008. Disponível em <<https://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/22977.pdf>>. Acesso em 12 abr. 2020.

SIENGE. **O guia do PBQP-H:** o que ele pode fazer pela sua construtora? [S.l:s.n], 2017. Disponível em:< <https://1p1clt2qmwh93rftuk3tb3qs-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/ebook-guia-pbqp-h-atualizado.pdf> >. Acesso em 12 abr. 2020.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau da região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACA O\\_Antonio\\_Augusto\\_de\\_Paula\\_Xavier.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACA O_Antonio_Augusto_de_Paula_Xavier.pdf) >. Acesso em 17 mar. 2020

WESTPHAL, Fernando Simon. **Curso:** introdução ao EnergyPlus. LabEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <[http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202\\_Tutorial%20EnergyPlus %202006.pdf](http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Tutorial%20EnergyPlus%202006.pdf)>. Acesso em 11 jun. 2020

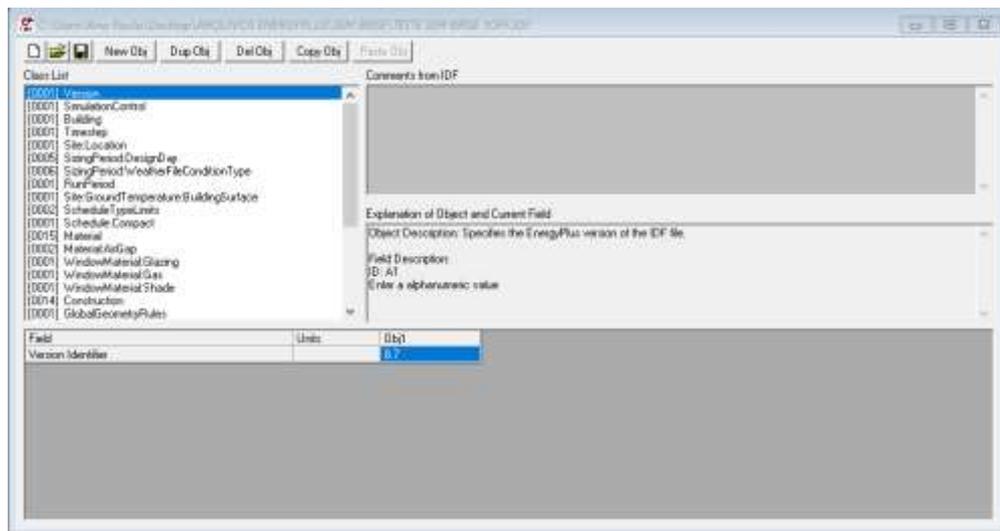
ZIEBELL, Clarissa Sartori. **Desempenho de aberturas e comportamento térmico de ambientes de simulação:** qualificação e quantificação para a região climática de Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Arquitetura – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura (PROPAR) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URGS\\_e727ca893ce8ba3ee8da034ace189f8b](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URGS_e727ca893ce8ba3ee8da034ace189f8b) >. Acesso em 29 set. 2020

## APÊNDICE A

O comando “IDF Editor” do software EnergyPlus é dividido em vários campos específicos. Estes devem ser preenchidos quando necessário, de forma que a simulação gere resultados compatíveis com a edificação. A seguir são detalhados os campos que foram preenchidos para as simulações.

### 1. Version

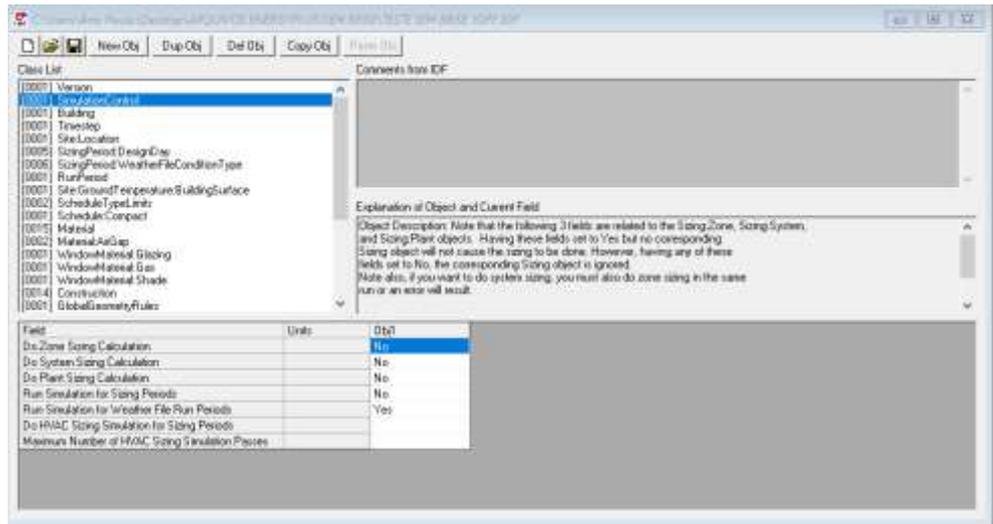
Campo em que é especificado a versão utilizada no *software*. No caso, a versão utilizada foi a 8.7, de forma a ser possível integrar outros dois *softwares* na modelagem (*SketchUp* e *Euclid*).



Fonte: autora (2020).

### 2. Simulation Control

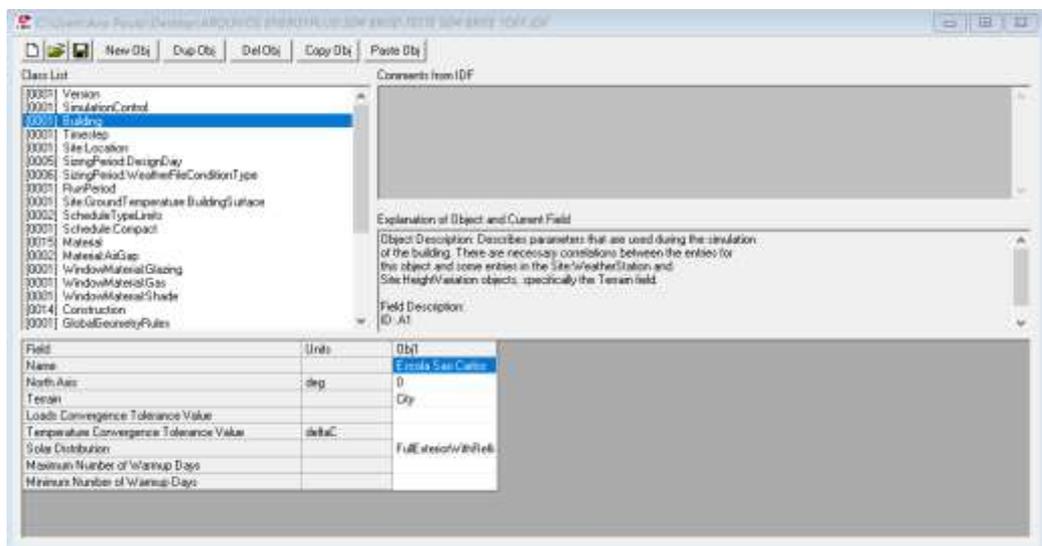
Neste campo é possível definir as condições de controle da simulação, ou seja, se será calculado as dimensões de zona, sistema e planta. É também neste campo que é especificado se a simulação será anual ou para um intervalo pré-definido.



Fonte: autora (2020).

### 3. Building

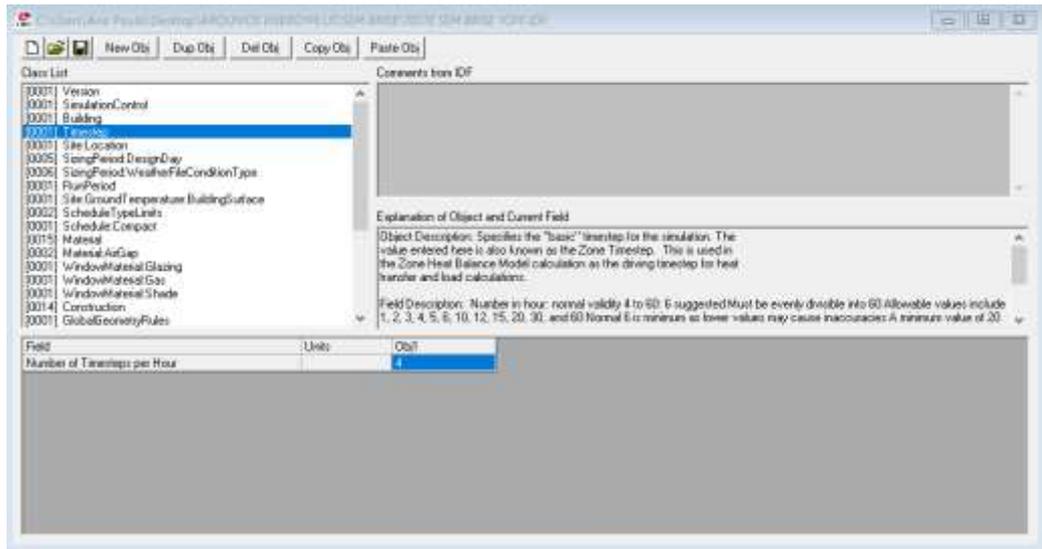
Descreve os parâmetros que serão utilizados durante a simulação da edificação, como o nome, orientação do norte, terreno e distribuição solar.



Fonte: autora (2020).

### 4. Timestep

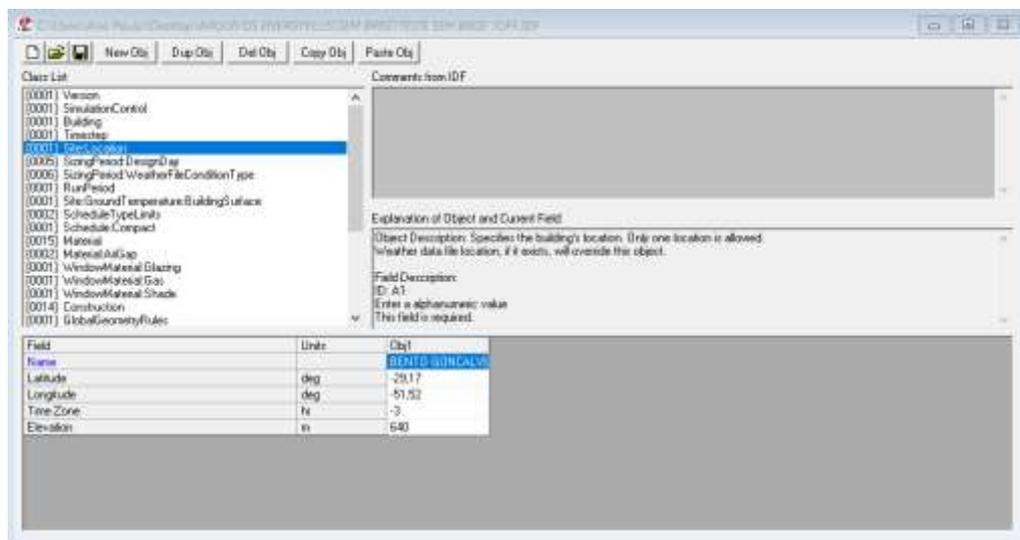
Campo em que é especificado o intervalo de tempo básico para a simulação. O valor estimulado é de 4, ou seja, 1 hora será dividida em intervalos de 15 minutos.



Fonte: autora (2020).

## 5. Site: Location

Campo onde é especificado a localização da edificação. Este campo é preenchido automaticamente pelo arquivo climático. Neste caso, está informado a localização de Bento Gonçalves/RS.

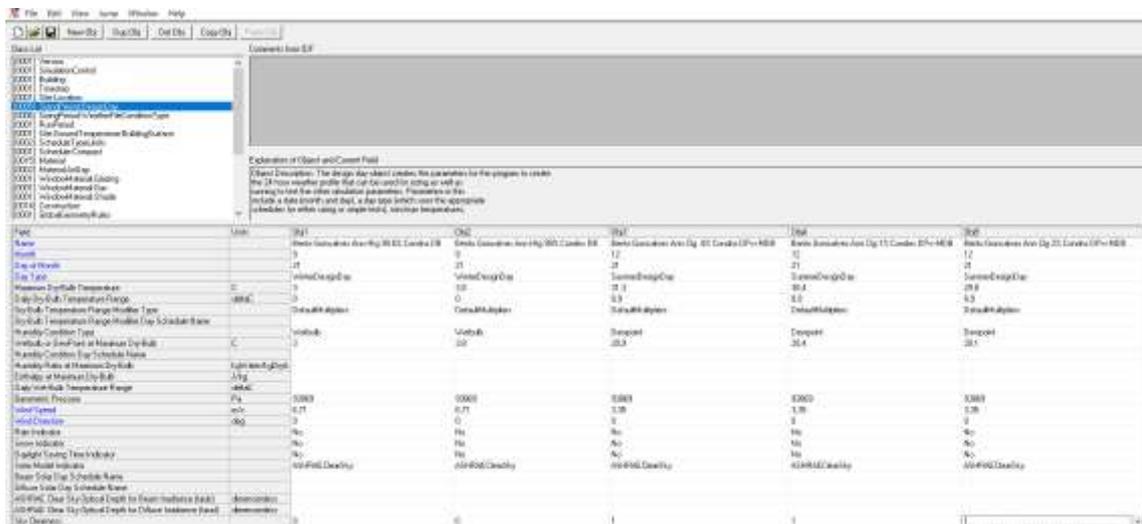


Fonte: autora (2020).

## 6. Sizing Period: Design Day

Campo onde é criado os parâmetros para o *software* criar o perfil meteorológico de 24 horas que pode ser usado para dimensionamento, bem como executado para testar os outros parâmetros de simulação. Parâmetros incluem uma data (mês e dia),

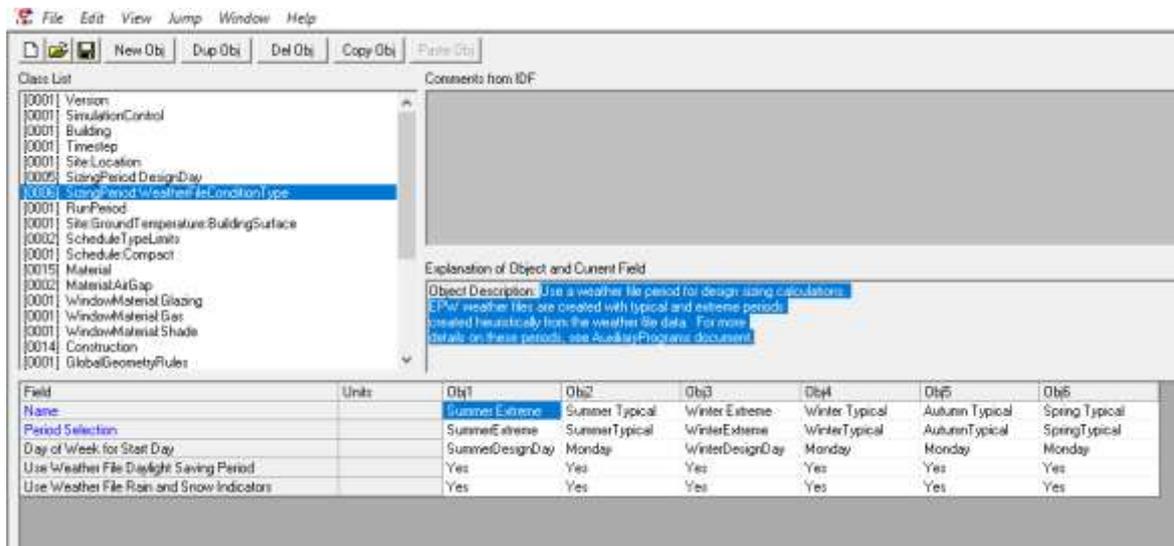
um tipo de dia, temperaturas mín. / máx., velocidades do vento e valores de radiação solar. Estes dados são preenchidos através do arquivo climático da cidade escolhida.



Fonte: autora (2020)

## 7. Sizing Period: Weather File Condition Type

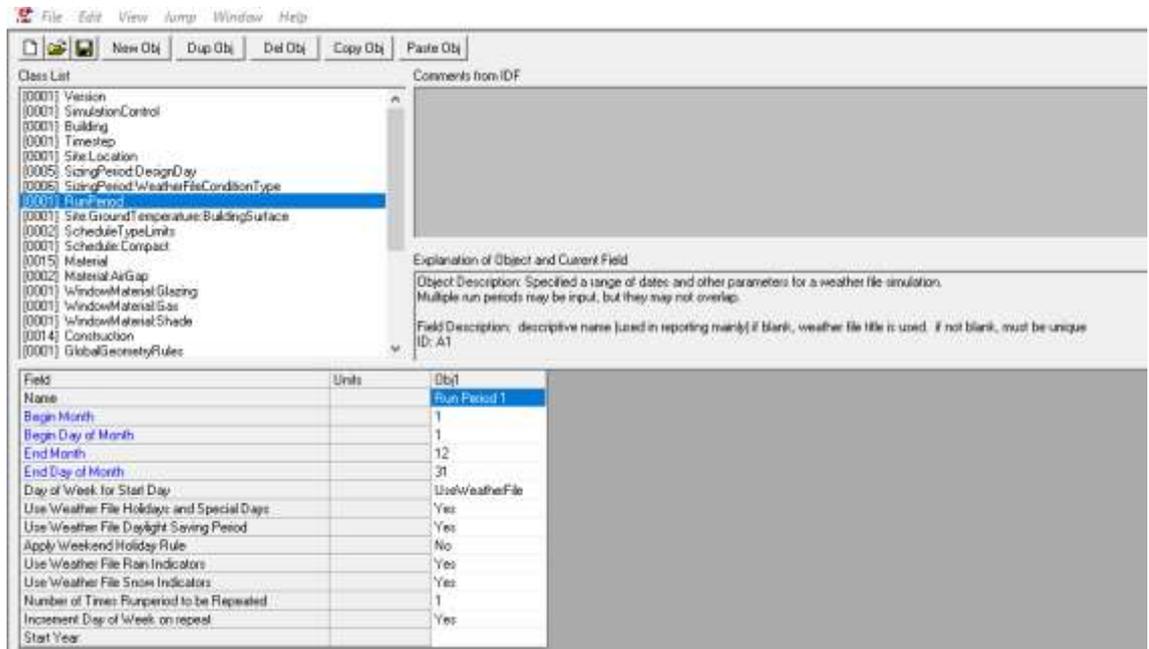
Utilizado para especificar um período para cálculos de dimensionamento de projeto.



Fonte: autora (2020)

## 8. Run Period

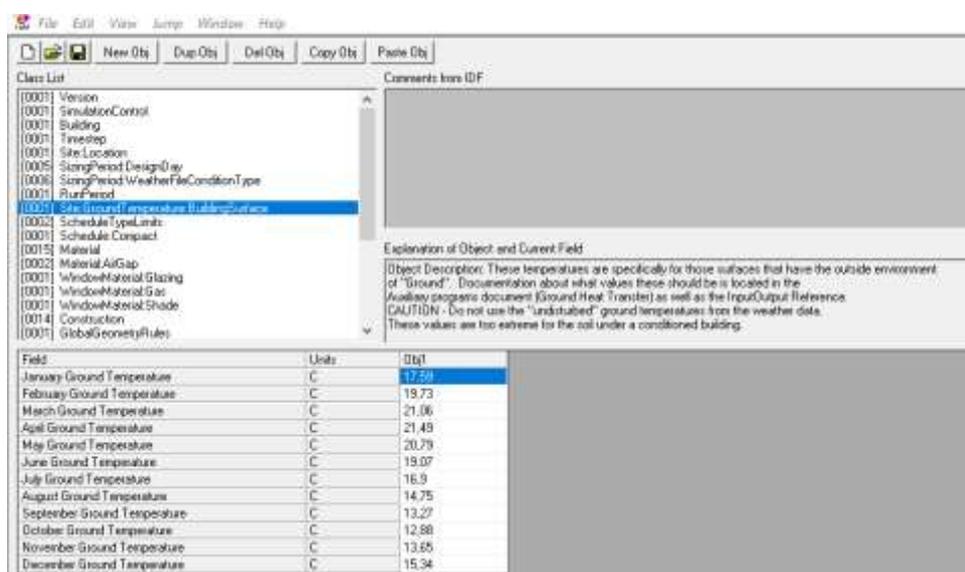
Campo para especificar intervalo de datas e outros parâmetros para a simulação climática.



Fonte: autora (2020)

## 9. Site: Ground Temperature: Building Surface

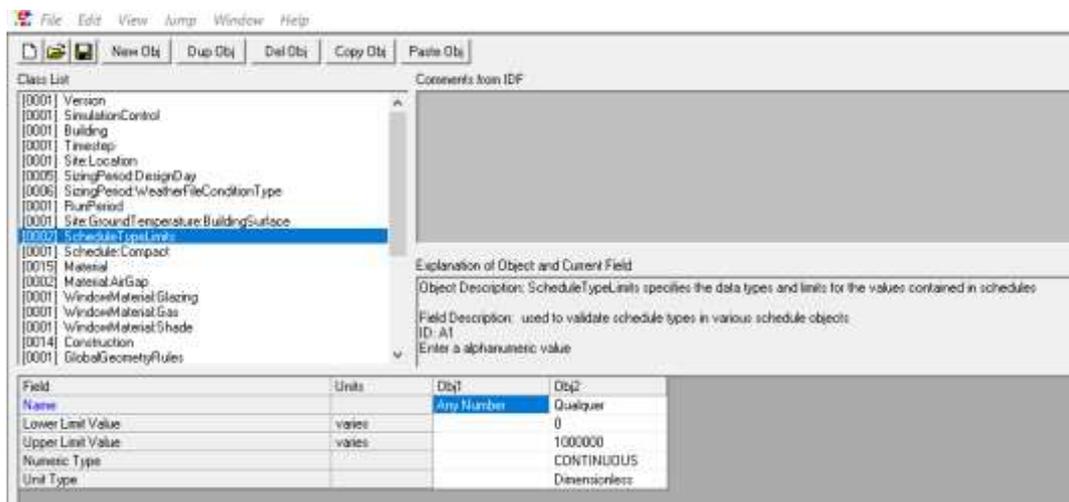
Campo preenchido automaticamente com o arquivo climático, com as temperaturas do solo para cada mês.



Fonte: autora (2020)

## 10. Schedule Type Limits

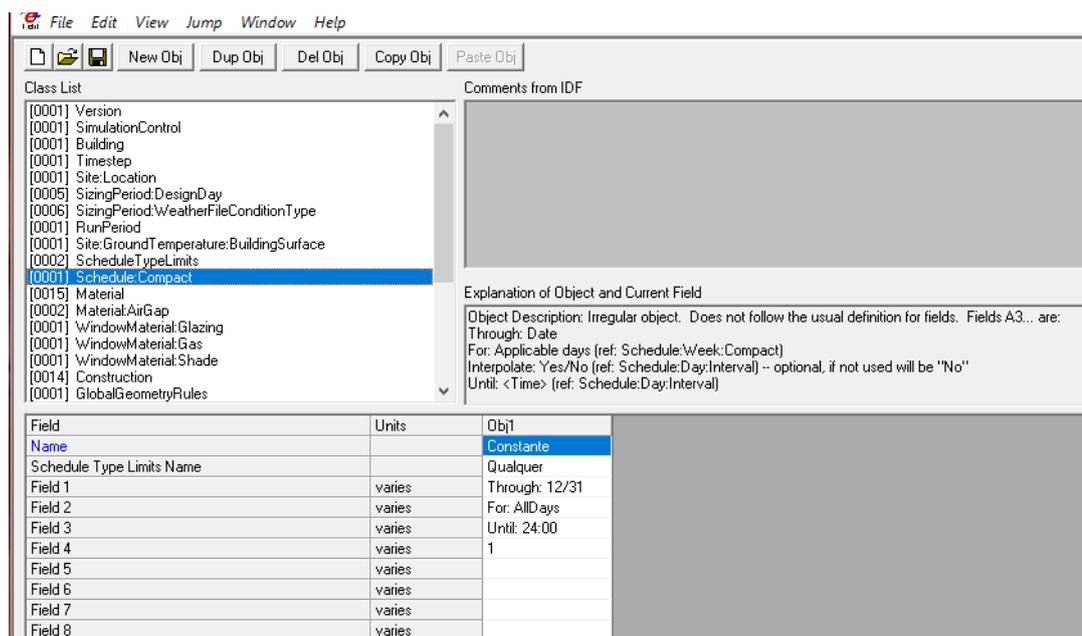
Especifica os tipos de dados e limites para os valores contidos na programação. É arbitrado um valor máximo, de forma a não interferir na simulação.



Fonte: autora (2020)

## 11. Schedule: Compact

Utilizado para padrões pouco complicados de uso e operação da edificação e seus sistemas.



Fonte: autora (2020).

## 12. Material

Campo onde é listado todos os materiais da edificação utilizados na simulação, junto das propriedades térmicas, tais como espessura, condutividade, densidade e calor específico. Estes dados estão listados no quadro 8.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		F04 Wall air space	F05 Ceiling air space
Thermal Resistance	m <sup>2</sup> ·K/W	0,15	0,18

Fonte: autora (2020).

## 13. Material: Air Gap

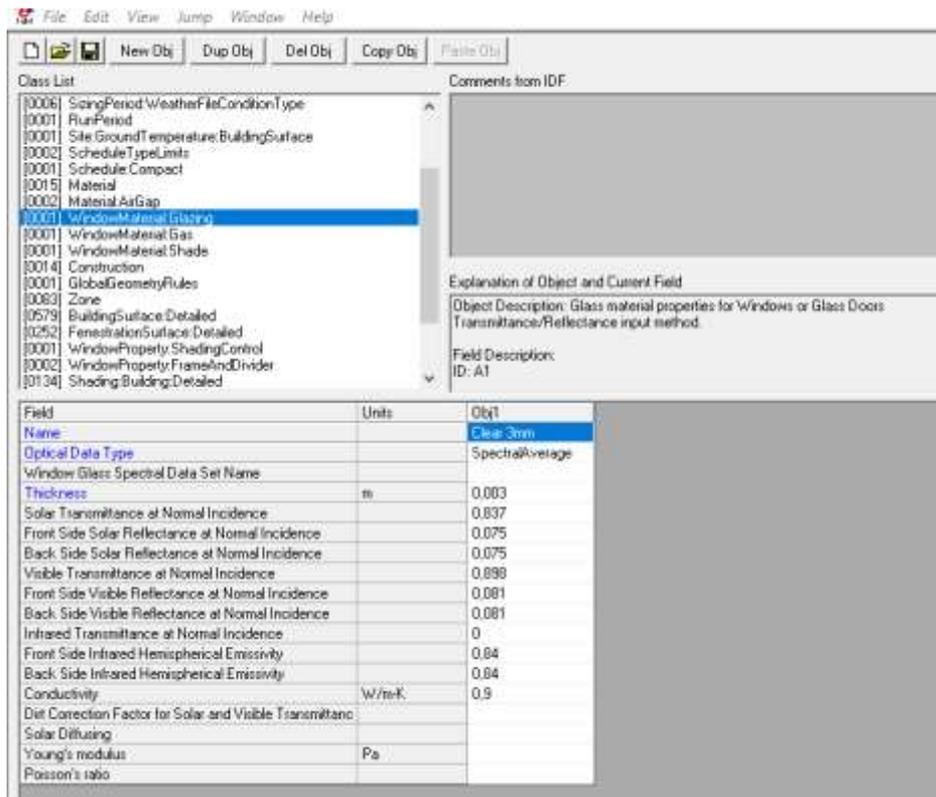
Especifica o espaço de ar para os materiais opacos.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		F04 Wall air space	F05 Ceiling air space
Thermal Resistance	m <sup>2</sup> ·K/W	0,15	0,18

Fonte: autora (2020).

## 14. Window Material: Glazing

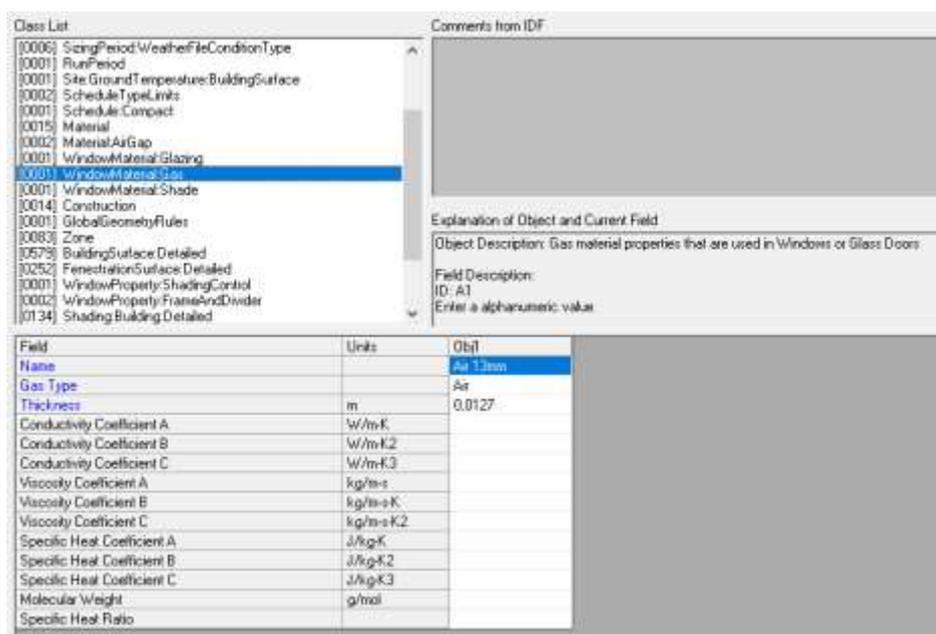
Campo onde é especificado as propriedades dos vidros utilizados na simulação.



Fonte: autora (2020).

## 15.Window Material: Gas

Campo onde é especificado as propriedades dos espaços de ar utilizados na simulação.



Fonte: autora (2020).

### 16. Window Material: Shade

Campo onde é especificado as propriedades do material para os tipos de sombreamentos internos da simulação, tais o tecido de cortinas e persianas.

The screenshot shows the 'Class List' on the left with 'WindowMaterial:Shade' selected. The 'Comments from IDF' pane on the right contains the following text:

Explanation of Object and Current Field  
 Object Description: Specifies the properties of window shade materials. Reflectance and emissivity properties are assumed to be the same on both sides of the shade. Shades are considered to be perfect diffusers (all transmitted and reflected radiation is hemispherically-diffuse) independent of angle of incidence.

Field	Units	Obj1
Name		TECIDO
Solar Transmittance	dimensionless	0,1
Solar Reflectance	dimensionless	0,8
Visible Transmittance	dimensionless	0,1
Visible Reflectance	dimensionless	0,8
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0,9
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0,005
Conductivity	W/m-K	0,1
Shade to Glass Distance	m	0,05
Top Opening Multiplier		0,5
Bottom Opening Multiplier		0,5
Left-Side Opening Multiplier		0,5
Right-Side Opening Multiplier		0,5
Airflow Permeability	dimensionless	

Fonte: autora (2020).

### 17. Construction

Neste campo, são descritos cada camada construtiva utilizada na simulação, sempre pensada da camada exterior para a interior. Estes dados são descritos no quadro 9.

The screenshot shows the 'Class List' on the left with 'Construction' selected. The 'Comments from IDF' pane on the right contains the following text:

Explanation of Object and Current Field  
 Object Description: List with outside layer and mesh size map to the inside layer.  
 Enter the substrate name for each layer.  
 Field description:

Layer	Order	Material	Thickness	Conductivity	Emittance	Reflectance	Transmittance	...
Layer 1	1	Plataforma						
Layer 2	2	Plataforma						
Layer 3	3	Plataforma						
Layer 4	4	Plataforma						
Layer 5	5	Plataforma						
Layer 6	6	Plataforma						
Layer 7	7	Plataforma						
Layer 8	8	Plataforma						
Layer 9	9	Plataforma						
Layer 10	10	Plataforma						

Fonte: autora (2020).

## 18. Global Geometry Rules

Especifica as regras geométricas usadas para descrever a entrada de vértices de superfície e pontos de referência de iluminação natural.



Fonte: autora (2020).

## 19. Zone

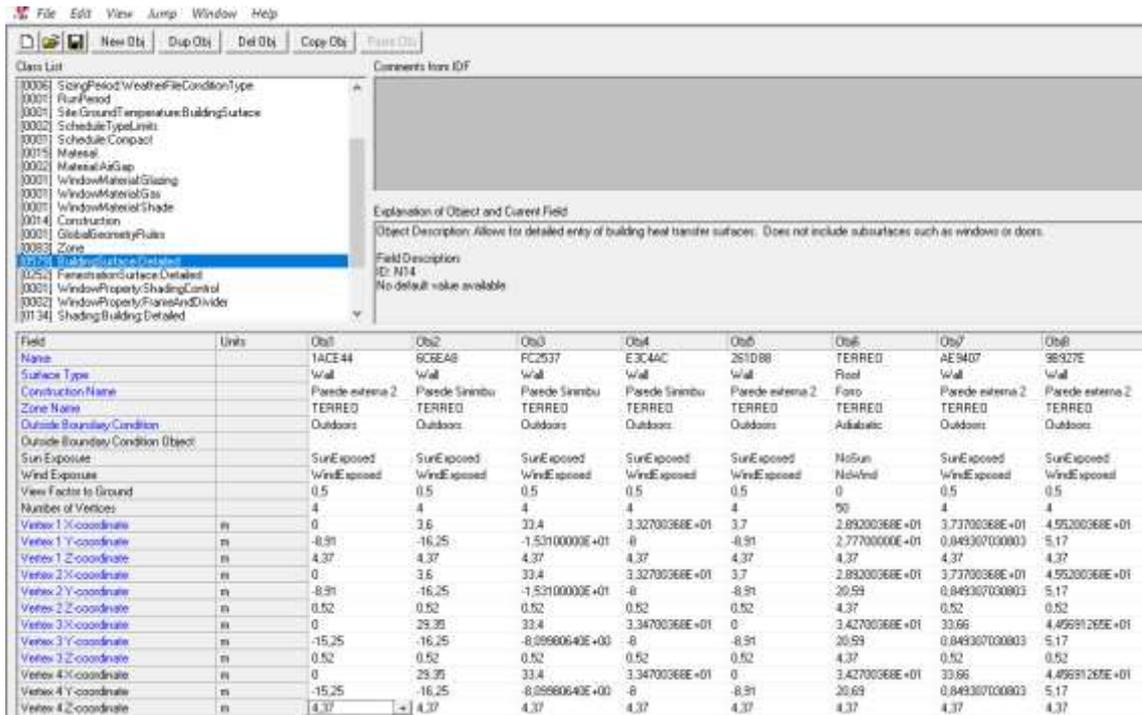
Descreve cada uma das zonas térmicas da simulação, ou seja, cada cômodo que foi modelado, como por exemplo as salas de aula, biblioteca e banheiros. Apresenta, também, os vértices de origem de cada zona. A nomenclatura é realizada pelo autor da simulação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		TERRED	SALA 02 1	SALA 04 1	WC MASC 1	SALA PROPOS 1	SANITARIO 2 1	SALA 07 1	DIRECAO 1	ATENDIMENTO 1
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y Origin	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Z Origin	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Type										
Multiple		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celling Height	m									
Volume	m3									
Floor Area	m2									
Zone Inside Convection Algorithm										
Zone Outside Convection Algorithm										
Part of Total Floor Area										

Fonte: autora (2020).

## 20. Building Surface: Detailed

Campo que descreve e nomeia todas as paredes, pisos, forros e telhados da edificação. Apresenta a localização de cada superfície, através de seus vértices. A nomenclatura é feita automaticamente pelo *software*.

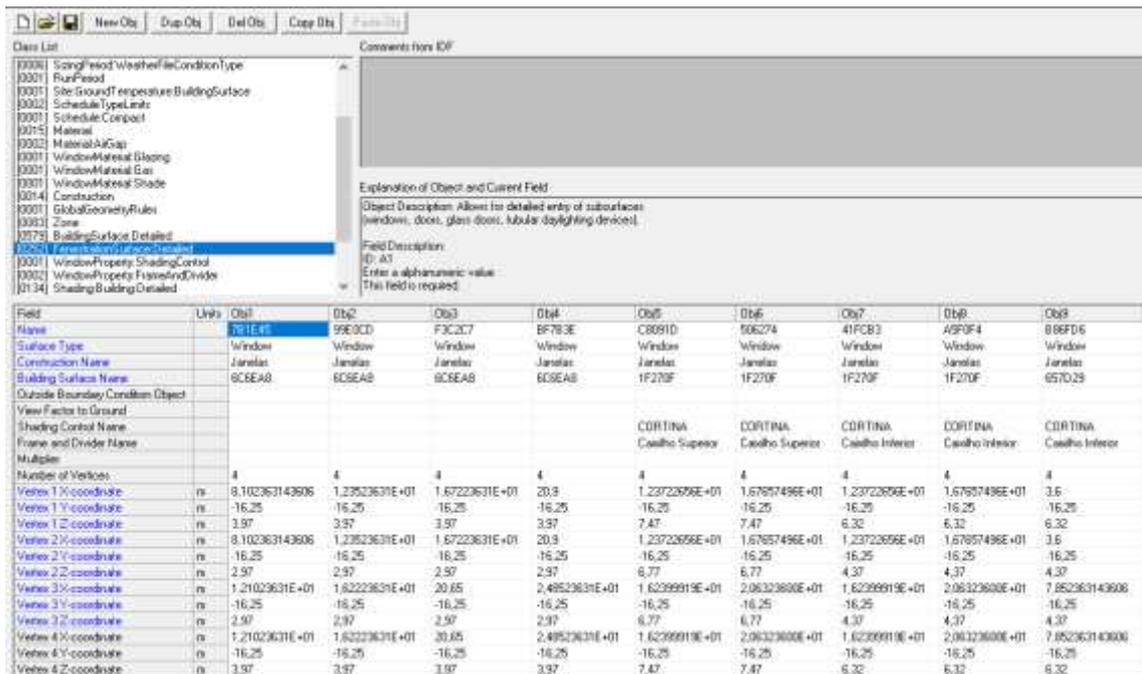


Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		1ACE44	6C6EAB	FC2537	E3C44C	261DB8	TERRED	AE9407	96927E		
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Floor	Wall	Wall		
Construction Name		Paredes externa 2	Paredes Simbu	Paredes Simbu	Paredes Simbu	Paredes externa 2	Foro	Paredes externa 2	Paredes externa 2		
Zone Name		TERRED	TERRED	TERRED	TERRED	TERRED	TERRED	TERRED	TERRED		
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Adiabatic	Outdoors	Outdoors		
Outside Boundary Condition Object											
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed		
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed		
View Factor to Ground		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5		
Number of Vertices		4	4	4	4	4	50	4	4		
Vertex 1 X-coordinate	m	0	3.6	33.4	3.32700368E+01	3.7	2.89200368E+01	3.73700368E+01	4.55200368E+01		
Vertex 1 Y-coordinate	m	-8.91	-16.25	-1.53100000E+01	-8	-8.91	2.77700000E+01	0.849307030803	5.17		
Vertex 1 Z-coordinate	m	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37		
Vertex 2 X-coordinate	m	0	3.6	33.4	3.32700368E+01	3.7	2.89200368E+01	3.73700368E+01	4.55200368E+01		
Vertex 2 Y-coordinate	m	-8.91	-16.25	-1.53100000E+01	-8	-8.91	20.59	0.849307030803	5.17		
Vertex 2 Z-coordinate	m	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	4.37	0.52	0.52		
Vertex 3 X-coordinate	m	0	29.35	33.4	3.34700368E+01	0	3.42700368E+01	33.66	4.4991269E+01		
Vertex 3 Y-coordinate	m	-15.25	-16.25	-8.8960640E+00	-8	-8.91	20.59	0.849307030803	5.17		
Vertex 3 Z-coordinate	m	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	4.37	0.52	0.52		
Vertex 4 X-coordinate	m	0	29.35	33.4	3.34700368E+01	0	3.42700368E+01	33.66	4.4991269E+01		
Vertex 4 Y-coordinate	m	-15.25	-16.25	-8.8960640E+00	-8	-8.91	20.69	0.849307030803	5.17		
Vertex 4 Z-coordinate	m	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37		

Fonte: autora (2020).

## 21. Fenestration Surface: Detailed.

Campo que descreve e nomeia as janelas da edificação. Apresenta a localização de cada janela, através de seus vértices. A nomenclatura é feita automaticamente pelo software.

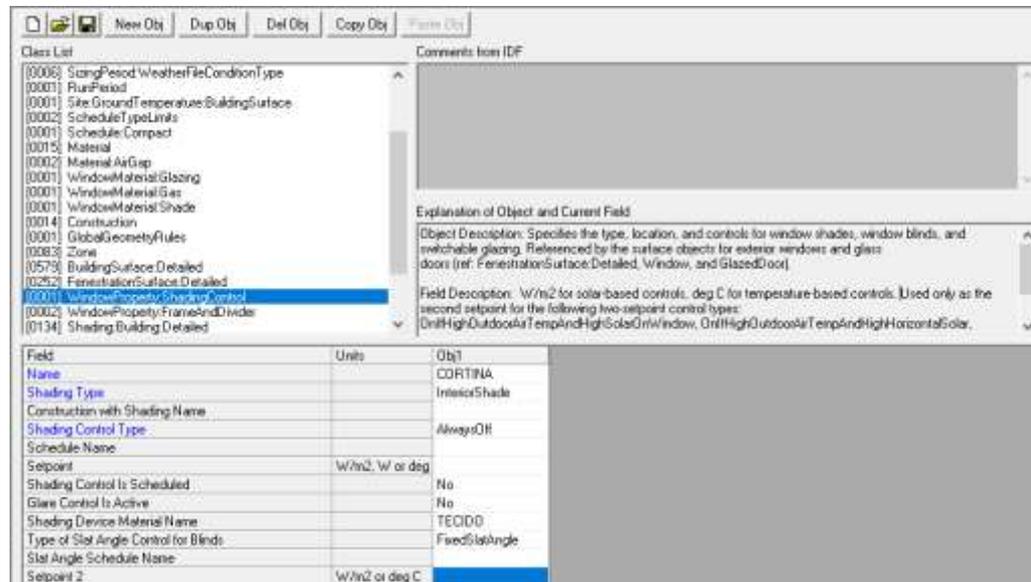


Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		701E45	99E0CD	F3C2C7	BF783E	C8891D	566274	41FCB3	A9DF4	886FD6
Surface Type		Window	Window	Window	Window	Window	Window	Window	Window	Window
Construction Name		Janelas	Janelas	Janelas	Janelas	Janelas	Janelas	Janelas	Janelas	Janelas
Building Surface Name		6C6EAB	6C6EAB	6C6EAB	6C6EAB	1F270F	1F270F	1F270F	1F270F	657D29
Outside Boundary Condition Object										
View Factor to Ground										
Shading Control Name						CORTINA	CORTINA	CORTINA	CORTINA	CORTINA
Frame and Divider Name						Casullo Superior	Casullo Superior	Casullo Interior	Casullo Interior	Casullo Interior
Multiple										
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	8.102363143606	1.23523631E+01	1.67223631E+01	20.9	1.23722696E+01	1.67857496E+01	1.23722696E+01	1.67857496E+01	3.6
Vertex 1 Y-coordinate	m	-16.25	16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.97	3.97	3.97	3.97	7.47	7.47	6.32	6.32	6.32
Vertex 2 X-coordinate	m	8.102363143606	1.23523631E+01	1.67223631E+01	20.9	1.23722696E+01	1.67857496E+01	1.23722696E+01	1.67857496E+01	3.6
Vertex 2 Y-coordinate	m	-16.25	16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25
Vertex 2 Z-coordinate	m	2.97	2.97	2.97	2.97	6.77	6.77	4.37	4.37	4.37
Vertex 3 X-coordinate	m	1.21023631E+01	1.62223631E+01	20.65	2.49523631E+01	1.62399919E+01	2.06323600E+01	1.62399919E+01	2.06323600E+01	7.852363143606
Vertex 3 Y-coordinate	m	-16.25	16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25
Vertex 3 Z-coordinate	m	2.97	2.97	2.97	2.97	6.77	6.77	4.37	4.37	4.37
Vertex 4 X-coordinate	m	1.21023631E+01	1.62223631E+01	20.65	2.49523631E+01	1.62399919E+01	2.06323600E+01	1.62399919E+01	2.06323600E+01	7.852363143606
Vertex 4 Y-coordinate	m	-16.25	16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25	-16.25
Vertex 4 Z-coordinate	m	3.97	3.97	3.97	3.97	7.47	7.47	6.32	6.32	6.32

Fonte: autora (2020).

## 22. Window Property: Shading Control

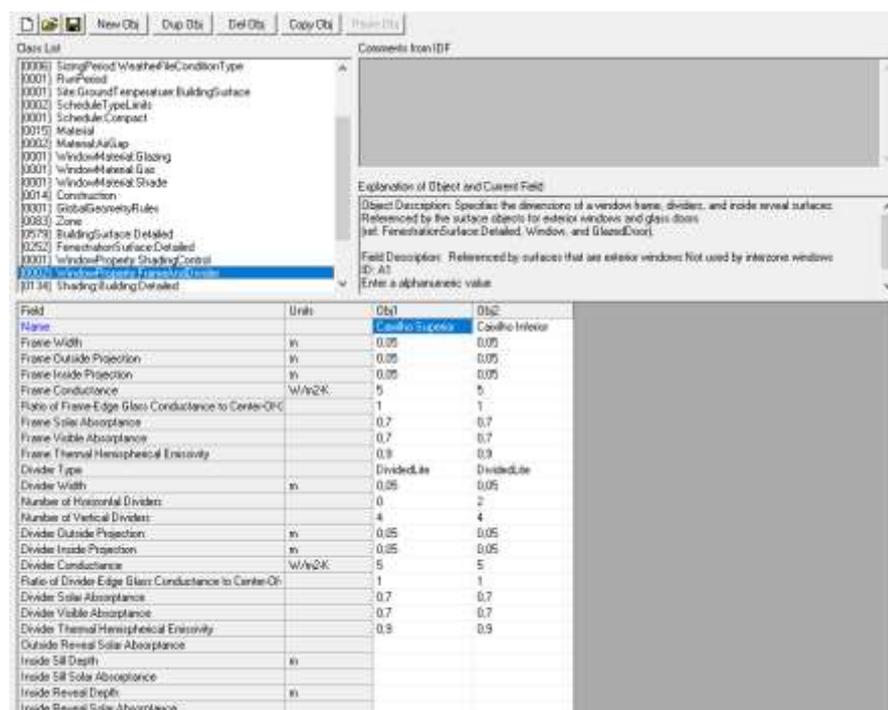
Especifica o tipo, localização e controle para persianas e cortinas.



Fonte: autora (2020).

## 23. Window Property: Frame and Divider

Especifica as dimensões de molduras de janela, caixilhos, divisórias e superfícies internas.



Fonte: autora (2020).

## 24. Shading: Building: Detailed

Campo que descreve e nomeia todos os tipos de sombreamentos externos da simulação, tais como brises, platibandas e edificações vizinhas. Apresenta a localização de cada sombreamento, através de seus vértices. A nomenclatura é feita automaticamente pelo software.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		11.25.01	BE7E94	D1E235	AF76D1	41F7D0	499A26
Transmittance Schedule Name							
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0	0	3.6	3.585036839605	29.35	29.35
Vertex 1 Y-coordinate	m	0.35	-15.25	-15.25	-15.25	-15.25	-1.53100000E+01
Vertex 1 Z-coordinate	m	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12
Vertex 2 X-coordinate	m	0	0	3.6	3.585036839605	29.35	29.35
Vertex 2 Y-coordinate	m	0.35	-15.25	-15.25	-15.25	-15.25	-1.53100000E+01
Vertex 2 Z-coordinate	m	15.92	15.92	15.92	15.92	15.92	15.92
Vertex 3 X-coordinate	m	0	3.6	3.585036839605	29.35	29.35	3.33100000E+01
Vertex 3 Y-coordinate	m	-15.25	-15.25	-15.25	-15.25	-1.53100000E+01	-1.53100000E+01
Vertex 3 Z-coordinate	m	15.92	15.92	15.92	15.92	15.92	15.92
Vertex 4 X-coordinate	m	0	3.6	3.585036839605	29.35	29.35	3.33100000E+01
Vertex 4 Y-coordinate	m	-15.25	-15.25	-15.25	-15.25	-1.53100000E+01	-1.53100000E+01
Vertex 4 Z-coordinate	m	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12	17.12
Vertex 5 X-coordinate	m						

Fonte: autora (2020).

## 25. Zone Ventilation: Design Flow Rate

Campo onde é definido a taxa e tipo de ventilação para cada zona simulada. É neste campo, também, em que se faz as alterações do item 11.5.3 da ABNT NBR 15575-1:2013, quando à taxa de ventilação.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		SALA 01 1	SALA 02 1	SALA 03 1	SALA 04 1	SALA 05 1	SALA 06 1	SALA 07 1	SALA 08 1
Zone or Control Name		SALA 01 1	SALA 02 1	SALA 03 1	SALA 04 1	SALA 05 1	SALA 06 1	SALA 07 1	SALA 08 1
Schedule Name		Constante							
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour							
Flow Rate per Zone Floor Area	m³/h								
Flow Rate per Person	m³/h/person								
Air Changes per Hour	1/h	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperature Type		Natural							
Fan Power per Flow	W								
Fan Total Efficiency		1	1	1	1	1	1	1	1
Constant Term Coefficient		1	1	1	1	1	1	1	1
Temperature Term Coefficient		1	1	1	1	1	1	1	1
Velocity Term Coefficient									
Velocity Squared Term Coefficient									
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100	100	100
Minimum Indoor Temperature Schedule Name									
Maximum Indoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name									
Delta Temperature	deltaC	100	100	100	100	100	100	100	100
Delta Temperature Schedule Name									
Minimum Outdoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name									
Minimum Outdoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name									
Maximum Outdoor Temperature	C	100	100	100	100	100	100	100	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name									
Maximum Wind Speed	m/s	40	40	40	40	40	40	40	40

Fonte: autora (2020).

## 26. HVAC Template: Thermostat

Controle de termostato para as zonas.

The screenshot shows the software interface for configuring an HVAC Template: Thermostat object. The Class List on the left includes various object types, with 'HVAC Template: Thermostat' selected. The right pane displays the 'Explanation of Object and Current Field' for this object. Below the explanation is a table with three columns: Field, Units, and Obj1.

Field	Units	Obj1
Name		Constant Setpoint Thermostat
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	20
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	25

Fonte: autora (2020).

## 27. Output: Variable Dictionary

Gera uma lista que resume as variáveis de saída e que estarão disponíveis para relatórios para o modelo que está sendo simulado.

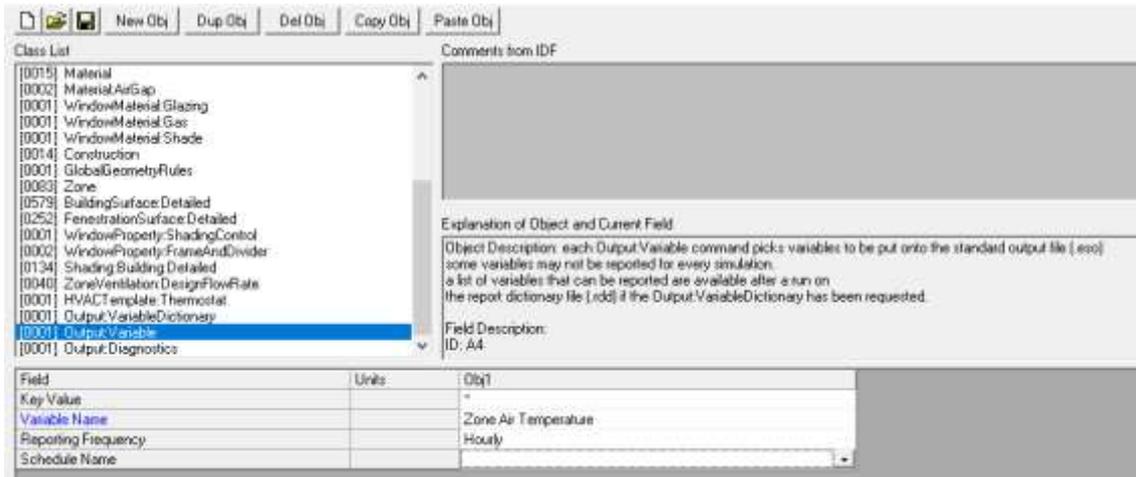
The screenshot shows the software interface for configuring an Output: Variable Dictionary object. The Class List on the left includes various object types, with 'Output: Variable Dictionary' selected. The right pane displays the 'Explanation of Object and Current Field' for this object. Below the explanation is a table with three columns: Field, Units, and Obj1.

Field	Units	Obj1
Key Field		IDF
Sort Option		

Fonte: autora (2020).

## 28. Output: Variable

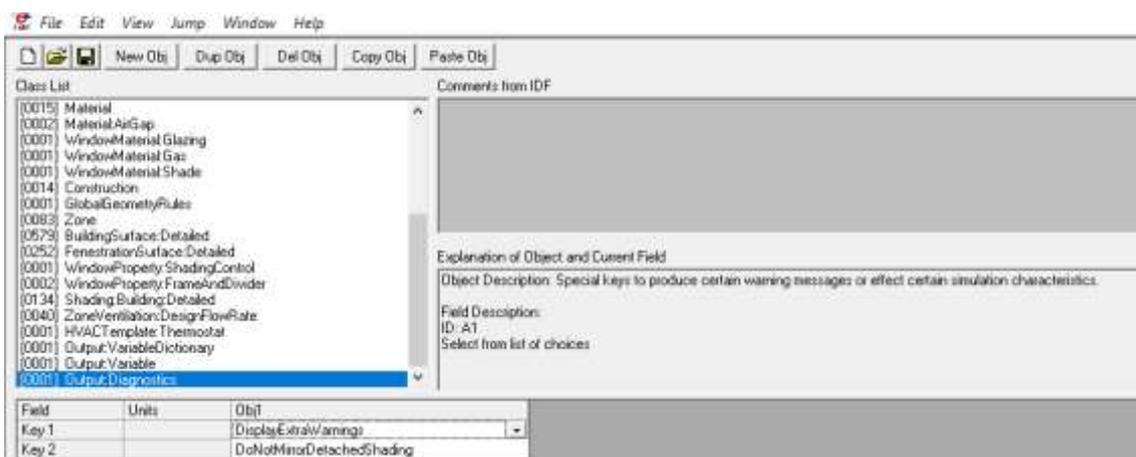
Campo onde é definido quais variáveis serão geradas pelo arquivo da simulação. Para este caso, será gerado as temperaturas para cada zona da simulação.



Fonte: autora (2020).

## 29. Output: Diagnostics

Campo onde é coloca algumas chaves para evitar mensagens de advertência da simulação, ou ainda para realizar certas características de simulação.



Fonte: autora (2020).