

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

**JOÃO VICTOR LOIOLA DE CARVALHO**

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, CONFORME A NBR  
15575**

São Luís  
2017

**JOÃO VICTOR LOIOLA DE CARVALHO**

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, CONFORME A NBR  
15575**

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, para obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Érico Peixoto Araújo

São Luís

2017

Carvalho, João Victor Loiola de.

Aplicação da tecnologia BIM na avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social, conforme a NBR 15575. / João Victor Loiola de Carvalho. - São Luís, 2018.

106 f.

Orientador (a): Prof. Dr. Érico Peixoto Araújo.

Monografia (Graduação) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

1. Habitações de Interesse Social. 2. Tecnologia BIM. 3. Simulação computacional. 4. Desempenho térmico. I. Título.

CDU: 711.4(004.1)

**JOÃO VICTOR LOIOLA DE CARVALHO**

**APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO  
TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, CONFORME A NBR  
15575**

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, para obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em:        /        /

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof. Dr. Érico Peixoto Araújo** (Orientador)

---

**Prof. Esp. Raoni Muniz Pinto**  
1º Examinador

---

**Profª. Esp. Carla de Azevedo Veras**  
2º Examinador

A Deus, e a minha família pelo apoio  
e incentivo nos momentos mais  
difíceis desta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que concebeu todas as oportunidades, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos foi onipresente e onipotente, guiando-me no caminho da luz e da sabedoria.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que abriram as portas para a maior semeadura de minha vida, me dando apoio, confiança e diretrizes para obter o máximo de conhecimento permitido, me formando como ser humano e alinhando minha ética para a sociedade.

Ao Prof. Dr. Érico Peixoto, pela oportunidade e auxílio na elaboração deste trabalho, mostrando-se paciente e importante para minha formação acadêmica em todo o meu ciclo dentro da instituição, tornando-se um grande amigo para a vida, exemplo de ser humano dedicado e empenhado com a educação deste país.

Agradeço à minha mãe Ana Tereza, heroína que sempre me apoiou nos momentos mais sinuosos de minha vida, me dando forças e energias para continuar minha caminhada. Ao meu pai Valterlim, meu muito obrigado, por todo o fortalecimento, me instruindo com ensinamentos valiosos. Obrigado aos meus irmãos e sobrinhos, pelo apoio incondicional, sendo essenciais em toda minha trajetória de vida. Gratidão a todos de minha família que fazem meus dias mais alegres.

Aos meus grandes amigos salvos em meu coração, inspiradores do meu cotidiano e que estão presentes nos momentos de dificuldade e de alegria. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*“Se começar foi fácil, difícil vai ser parar”.*

*O Rappa*

## RESUMO

O presente estudo leva em consideração a importância dos programas computacionais para a análise de espaços edificados a fim de obter projetos com níveis satisfatórios de habitabilidade. Para isso, foi utilizado como base um estudo de caso para projetos de habitação de interesse social, aplicados em diferentes zonas bioclimáticas, aferindo análises de desempenho térmico de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 15575:2013. O trabalho tem como objetivo principal, aferir análises de desempenho térmico em habitações de interesse social com base na utilização do *software Autodesk® Revit*, que utiliza tecnologia BIM (*Building Information Modeling*, ou Modelagem de Informações da Construção). Este mecanismo tem seu uso crescente e difundido nos ambientes profissionais da construção civil, principalmente nos escritórios de arquitetura, onde é utilizado para a concepção de projetos arquitetônicos. Juntamente de outras ferramentas de apoio, sendo elas o *SketchUp*, *OpenStudio* e *EnergyPlus*, avaliações com os métodos simplificado e de simulação térmica, referentes à ABNT NBR 15575:2013, foram desenvolvidas para criar uma fundamentação crítica diante da fase de concepção do projeto, que se torna importante para garantir o nível de conforto térmico aceitável para usuários de habitações de interesse social.

**Palavras-chave:** Habitações de Interesse Social. Tecnologia BIM. Simulação computacional. Desempenho térmico. Open Studio. EnergyPlus.

## **ABSTRACT**

The present study considers the importance of computer programs in built spaces analysis to develop designs with satisfactory levels of habitability. The base of this research was a case study in social housing architecture applied in different bioclimatic zones, where it was assessed the thermal performance according to the ABNT NBR 15575:2013 recommendations. This research aims to gauge the thermal performance in the social housing using Autodesk® Revit, a Building Information Modeling (BIM). The use of this technology has been growing and widespread among construction professionals, mainly in architecture offices, where it is the tool used to develop architecture design. Along with other support tools such as OpenStudio and EnergyPlus, simplified methods of evaluation and thermal simulation according ABNT NBR 15575:2013 was developed to create a critical foundation on the conceptual design phase that is important to ensure acceptable environmental comfort level for social housing.

**Keywords:** Social Housing. BIM Technology. Computer simulations. Thermal Performance. OpenStudio. EnergyPlus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquema de definição da Neutralidade Térmica.....	30
Figura 2	– Distribuição do Zoneamento Bioclimático no Território Brasileiro..	32
Figura 3	– Carta Bioclimática de Olgyay.....	34
Figura 4	– Carta Bioclimática de Givoni.....	34
Figura 5	– Carta Bioclimática Adaptada.....	35
Figura 6	– Trocas de calor por radiação em edifícios.....	37
Figura 7	– Trajetória da Terra ao redor do Sol.....	38
Figura 8	– Fluxograma das funções da ventilação natural.....	40
Figura 9	– Equilíbrio térmico entre o meio externo e interno.....	41
Figura 10	– Exemplo para o cálculo de resistência térmica.....	44
Figura 11	– Cálculo da capacidade térmica da parede de tijolo maciço rebocado.....	47
Figura 12	– Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico.....	49
Figura 13	– Características necessárias para <i>softwares</i> de avaliação térmica.	52
Figura 14	– Ciclo da utilização da tecnologia BIM na construção civil.....	58
Figura 15	– Análise de eficiência energética de uma edificação na interface BIM.....	64
Figura 16	– Demonstração da interface inicial do Trimble® SketchUp v.2017.....	65
Figura 17	– Demonstração da interface inicial do EnergyPlus™ v.8.8.0.....	66
Figura 18	– Ilustração da planta baixa do pavimento térreo.....	70
Figura 19	– Ilustração da planta baixa da cobertura.....	71
Figura 20	– Ilustração do Corte Longitudinal.....	72
Figura 21	– Ilustração do Corte Transversal.....	73
Figura 22	– Ilustração da Fachada Sul.....	74
Figura 23	– Ilustração da Fachada Leste.....	75
Figura 24	– Ilustração da Fachada Oeste.....	76
Figura 25	– Ilustração da Fachada Norte.....	77
Figura 26	– Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	80
Figura 27	– Localização das cidades de São Luís – MA e Porto Alegre – RS..	80
Figura 28	– Identificação dos SVVEI do projeto.....	81

Figura 29 – Identificação da interface de propriedades dos componentes construtivos.....	82
Figura 30 – Montagem das características do projeto no Autodesk® Revit.....	83
Figura 31 – Configuração das propriedades térmicas dos materiais.....	84
Figura 32 – Apresentação dos parâmetros térmicos dos invólucros externos..	85
Figura 33 – Resultados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedação vertical para a zona bioclimática 8.....	86
Figura 34 – Resultado de transmitância térmica (U) do sistema de cobertura para a zona bioclimática 8.....	86
Figura 35 – Resultados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedação vertical para a zona bioclimática 3.....	87
Figura 36 – Resultado de transmitância térmica (U) do sistema de cobertura para a zona bioclimática 3.....	88
Figura 37 – Modelagem das superfícies e subsuperfícies no SketchUp.....	89
Figura 38 – Inspeção e adequação das superfícies e subsuperfícies da modelagem.....	90
Figura 39 – Inspeção e adequação dos espaços e zonas térmicas da modelagem.....	90
Figura 40 – Localização dos dados climáticos das principais cidades do mundo.....	91
Figura 41 – Inserção dos dados climáticos de Porto Alegre e São Luís, nos arquivos.....	91
Figura 42 – Configuração das características térmicas dos materiais de construção.....	92
Figura 43 – Configuração dos conjuntos construtivos da edificação.....	93
Figura 44 – Configuração dos espaços necessários para a simulação térmica.....	93
Figura 45 – Verificação dos parâmetros das superfícies para cada ambiente..	94
Figura 46 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de verão na ZB 3.....	95

Figura 47 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de verão na ZB 8.....	97
Figura 48 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de inverno na ZB 3.....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Detalhamento das zonas da carta bioclimática.....	35
Quadro 2	– Definição de Absortância, Refletância, Transmitância e Emissividade.....	42
Quadro 3	– Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) .....	43
Quadro 4	– Conceituação de resistência térmica total.....	44
Quadro 5	– Conceituação de Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico.....	45
Quadro 6	– Exemplos de alguns valores para densidade de massa aparente, calor específico e condutividade térmica, dos materiais construtivos.....	46
Quadro 7	– Conceituação de resistência térmica total.....	47
Quadro 8	– Conceituação de transmitância térmica.....	48
Quadro 9	– Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	54
Quadro 10	– Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	55
Quadro 11	– Valores de transmitância térmica para paredes externas.....	56
Quadro 12	– Valores de capacidade térmica para paredes externas.....	57
Quadro 13	– Critérios para os valores de transmitância térmica nas coberturas.....	57
Quadro 14	– Benefícios acrescidos no uso das ferramentas BIM.....	59
Quadro 15	– Lista das ferramentas BIM e suas famílias incorporadas, com base em dados pertinentes até meados de 2007.....	61
Quadro 16	– Distribuição das áreas úteis da edificação.....	69
Quadro 17	– Identificação dos componentes construtivos e suas propriedades de absortância ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações.....	78
Quadro 18	– Identificação dos materiais construtivos e suas propriedades de densidade ( $\rho$ ), condutividade ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ).....	79
Quadro 19	– Identificação do Zoneamento Bioclimático do Projeto.....	79

Quadro 20 – Identificação dos Tipos Vedações Verticais.....	82
Quadro 21 – Dias típicos de verão para as zonas bioclimáticas 3 e 8.....	95
Quadro 22 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 3.....	96
Quadro 23 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 3.....	96
Quadro 24 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 8.....	98
Quadro 25 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 8.....	98
Quadro 26 – Dias típicos de inverno para as zonas bioclimáticas 3 e 8.....	98
Quadro 27 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), para avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno na zona bioclimática 3.....	100
Quadro 28 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de inverno na zona bioclimática 3.....	100

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	– Arquitetura, Engenharia e Construção
ASHRAE	– <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BIM	– <i>Building Information Modeling</i>
CBIC	– Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CT	– Capacidade Térmica
DOE	– <i>United States Department of Energy</i>
FNHIS	– Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	– International Energy Agency
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i>
NBR	– Norma Brasileira
PAC	– Programa de Aceleração do Crescimento
PNAD	– Nacional por Amostra de Domicílios
PlanHab	– Plano Nacional de Habitação
PMCMV	– Programa Minha Casa, Minha Vida
PNH	– Plano Nacional de Habitação
PTC	– <i>Parametric Technologies Corporation®</i>
SNHIS	– Sistema Nacional de Interesse Social

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	18
1.1.1	Geral.....	18
1.1.2	Específicos.....	18
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Habitação de interesse social</b> .....	20
2.1.1	Conceito para habitação de interesse social.....	20
2.1.2	O contexto da política brasileira de habitação social.....	22
2.1.3	O conforto térmico nas habitações de interesse social.....	27
<b>2.2</b>	<b>Análise térmica das edificações</b> .....	29
2.2.1	Conforto térmico.....	29
2.2.2	Desempenho térmico.....	30
2.2.3	Zoneamento bioclimático.....	31
2.2.4	Aplicação da bioclimatologia na arquitetura.....	33
2.2.5	Propriedades térmicas dos elementos construtivos.....	41
2.2.5.1	Absortância, refletância, transmitância à radiação e emissividade.....	41
2.2.5.2	Resistência térmica.....	43
2.2.5.3	Densidade, condutividade térmica e calor específico.....	45
2.2.5.4	Capacidade térmica do componente.....	46
2.2.5.5	Transmitância térmica.....	47
2.2.6	Requisitos gerais para análises de desempenho térmico de acordo com a ABNT NBR 15.575:2013.....	48
2.2.6.1	Avaliação do Método Simplificado.....	50
2.2.6.2	Avaliação do Método de Simulação.....	51
2.2.6.3	Avaliação do Método de Medição.....	55
2.2.7	Parâmetros de adequação dos elementos construtivos para o método simplificado, conforme a ABNT NBR 15.575:2013.....	55
2.2.7.1	Adequação das vedações verticais externas.....	55
2.2.7.2	Adequação das coberturas.....	57
<b>2.3</b>	<b>Tecnologia BIM</b> .....	57

2.3.1	Conceito e definições para tecnologia BIM.....	57
2.3.2	A tecnologia BIM e seus benefícios.....	59
2.3.3	As ferramentas BIM na arquitetura e suas especificidades.....	60
2.3.4	O Autodesk Revit®.....	62
2.3.5	A tecnologia BIM na análise de eficiência térmica.....	63
<b>2.4</b>	<b>Softwares de apoio para o método de simulação.....</b>	<b>64</b>
2.4.1	O Sketchup.....	64
2.4.2	O OpenStudio.....	65
2.4.3	O EnergyPlus.....	66
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>68</b>
<b>3.1</b>	<b>Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>59</b>
3.1.1	Definição do projeto.....	59
3.1.2	Informações detalhadas do projeto.....	78
3.1.3	Caracterização do zoneamento bioclimático.....	79
3.1.4	Parametrização dos sistemas de vedação vertical externa/interna e da cobertura na interface BIM.....	81
3.1.5	Resultados obtidos no método de avaliação simplificado, para as paredes e cobertura da zona bioclimática 8.....	86
3.1.6	Resultados obtidos no método de avaliação simplificado, para as paredes e cobertura da zona bioclimática 3.....	87
3.1.7	Aferição das simulações computacionais para análises de desempenho térmico.....	88
3.1.7.1	A modelagem da edificação no Trimble® SketchUp.....	88
3.1.7.2	Configuração dos parâmetros no OpenStudio.....	91
3.1.7.3	Avaliação do desempenho térmico nos dias típicos de verão.....	94
3.1.7.4	Avaliação do desempenho térmico nos dias típicos de inverno.....	98
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>101</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente encontra-se a necessidade da concepção de habitações de interesse social, visando a fragmentação do déficit habitacional brasileiro. Neste contexto, estão relacionadas com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), medidas governamentais, que possam diminuir o déficit habitacional, agrupadas a um conjunto de políticas públicas que priorizam investimentos em infraestrutura para a sociedade.

O programa habitacional “*Minha Casa, Minha Vida*”, que previu a construção de moradias com finalidade de reduzir as problemáticas habitacionais, foi uma das estratégias precursoras das políticas habitacionais contemporâneas. Diante dessa situação, a construção de habitações em larga escala, objetiva aumentar a demanda de espaços edificados em curto espaço de tempo, utilizando sistemas construtivos dinâmicos e viáveis diante das proporções econômicas do governo federal, assim a padronização dos projetos torna-se inevitável em todo o território nacional.

Desse modo, é necessário rever o impacto dessas soluções, no que tange aos índices de habitabilidade proporcionado pelo Plano Nacional de Habitação (PNH). O desempenho térmico das edificações, constituem um desses índices mensuráveis que podem proporcionar conforto ou desconforto aos usuários, causados pela adoção de tipologias e sistemas construtivos de projeto, com similaridades em regiões com aspectos geográficos e configurações climáticas distintas (FERREIRA; PEREIRA, 2012).

Além do exposto, os sistemas construtivos das edificações de interesse social estão sendo constituídos pela adoção de materiais, que desempenham funções térmicas variadas, adotando leveza e estabilidade estrutural na construção, como também caracteriza a implementação de camadas construtivas de alta condutibilidade térmica, absorção à radiação e fluxo térmico. Todo este contexto é necessário para gerir planos estratégicos às edificações de baixo custo, visando a construção de mais habitações em menos tempo. Contudo, essas mesmas características físico-térmicas podem conduzir os espaços edificados às condições heterogêneas no âmbito térmico, sendo assim, satisfatórias ou insatisfatórias para seus habitantes. Torna-se relevante o estudo do comportamento térmico dos invólucros das edificações, ressaltando as características bioclimáticas regionais,

buscando proporcionar conforto e melhores níveis de habitabilidade para seus usuários.

Dessa maneira, criam-se requisitos fundamentais para o desenvolvimento de espaços, que assegurem melhores condições de habitabilidade e conforto ambiental no interior dessas construções. Vale ressaltar, a importância de elencar soluções, que amenizem o desconforto térmico proporcionado pelas características do espaço edificado e seu entorno, estando estas associadas às condições funcionais previstas em estudos preliminares do edifício.

Segundo Arantes (2013, p.4), “ressalta-se que assuntos relacionados às condições ambientais existentes no interior de um edifício podem ser resolvidos com maior eficácia e menor custo, quando pensados ainda na fase de projeto dos mesmos”.

Dessa forma, é imprescindível que as pesquisas relacionadas aos benefícios da Arquitetura Bioclimática, que vêm sendo cada vez mais difundidas entre os profissionais da arquitetura e urbanismo, visem contribuir para o incremento de estudos complementares no contexto edificado, introduzindo na fase preliminar do projeto, todas as análises de desempenho térmico habitacional.

Calazans (2016, p.2) afirma que:

No Brasil, a normatização do desempenho térmico de edificações se iniciou com a norma de desempenho térmico para edificações, a ABNT NBR 15220:2003, que estabelece critérios de acordo com parâmetros adequados à realidade brasileira. Entretanto, ela apresenta atuação restrita a edificações unifamiliares de interesse social. Iniciou-se, então, o processo de desenvolvimento da norma de desempenho para edificações residenciais, ABNT NBR 15575, cuja primeira versão foi publicada em 2008 e revisada em 2013, estabelecendo requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os sistemas que compõem as edificações, dentre eles os requisitos de desempenho térmico.

O presente estudo, consiste na aplicação dos critérios normativos da NBR 15.575 (ABNT, 2013), para o desenvolvimento de análises das edificações de interesse social, tendo como premissa, todo o envolvimento do estudo da arquitetura bioclimática no espaço edificado, utilizando programas computacionais para verificar os índices de habitabilidade da edificação, no que concerne ao conforto e desempenho térmico.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Geral

Avaliar o desempenho térmico em edificações de interesse social, utilizando os métodos simplificados e de simulação computacional, conforme preconiza a norma NBR ABNT – 15575.

### 1.1.2 Específicos

- Analisar dentro das zonas bioclimáticas 3 e 8, os fatores pertinentes ao desempenho térmico regional, levando em considerações a bioclimatologia brasileira;
- Aplicar nas envoltórias da edificação (sistemas de vedações verticais e coberturas), os parâmetros de desempenho térmicos indicados pela norma ABNT NBR 15575:2013;
- Através dos métodos prescritivos (simplificado e simulação) da norma ABNT NBR 15575:2013, aferir o estudo de caso nas edificações de interesse social;
- Obter os resultados de desempenho térmico da edificação, através dos métodos prescritivos;

## 1.2 Justificativa

Kuhn e Nerbas (2010), ressaltam que as estratégias de projeto adotadas e todos os materiais empregados nas edificações, justificam as variações térmicas das zonas edificadas, sendo determinantes para o conforto e a saúde de seus habitantes. É de total relevância o estudo acerca dos componentes construtivos e suas propriedades térmicas, que infligem soluções para a fase de concepção projetual.

Diante da necessidade de suprir o *déficit* habitacional brasileiro, as políticas engajadas para a aceleração do crescimento social, induzem às construtoras a desempenharem um papel preocupante no que concerne aos índices qualitativos das edificações. A busca por maiores lucros em tempos mais curtos, criam

mecanismos rápidos que possam atender a demanda das estatais ligadas com os programas habitacionais no Brasil, sem se preocupar com os moradores que ali irão habitar, desconsiderando os perfis de cada família e as características locais. As construções em série, que reproduzem várias vezes o mesmo projeto, justificam diretamente o descaso com o bem-estar das populações de baixa renda.

De maneira mais específica, é indiscutível a necessidade de gerar novos estudos relacionados às condições de habitabilidade da classe social menos favorecida, pois, as populações de baixa renda possuem menor poder aquisitivo e condições inferiores para solucionar os problemas relacionados ao desconforto térmico de suas casas com a aplicação de mecanismos de climatização ou reformas pontuais, que modificam o contexto físico da edificação. No intuito de proporcionar maior conforto interno aos usuários, o impacto positivo deste estudo está atrelado as melhores condições no espaço habitado, permitindo que os mesmos possam desenvolver suas atividades diárias com maior qualidade e eficiência (ARANTES, 2013, p.45).

Para Silva (2015, p.20), “Os arquitetos têm como meta projetar ambientes que permitam ao seu usuário condições de conforto para a realização de qualquer atividade”. É importante que os profissionais encarregados deste trabalho, conheçam os aspectos bioclimáticos apresentados pela NBR 15.220 (ABNT, 2003), preocupando-se com as variáveis climáticas: umidade e velocidade do ar, temperatura externa, médias de temperatura interna, radiação solar direta e indireta, como os fluxos dos ventos e orientação solar. Por sua vez, o conjunto de variáveis está associado diretamente, com o invólucro da edificação e suas propriedades térmicas, devendo ser conhecida pelo profissional que irá propor o projeto.

Contudo, o presente trabalho se justifica pela necessidade de aplicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para alcançar os critérios avaliativos de desempenho térmico numa edificação residencial. É de grande relevância o estudo de bioclimatologia aplicada na arquitetura para o estudo de caso, criando análises que possam comprovar os índices de desempenho da edificação e assegurar a importância desse tipo de trabalho para os profissionais do segmento da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Habitação de interesse social

#### 2.1.1 Conceito para habitação de interesse social

Habitação de interesse social é uma definição comum que determina soluções de moradia que possam atender às populações de baixa renda, podendo também, ser definida como: habitação de baixo custo, habitação para populações de baixa renda, habitação popular, ou de baixo custo. Portanto, este tipo de edificação terá limitações que se adequem ao contexto social da região (ABIKO, 1995, p.12).

Segundo Abiko (1995, p.12), “estes são termos usados pelo extinto BNH<sup>1</sup>envolvendo os seus programas para faixas de menor renda. Este termo continua a ser utilizado por várias instituições e agências na área habitacional”. O conceito para habitação de interesse social, no Brasil, envolve políticas públicas de financiamento para aquisição de moradia de uma forma mais acessível.

Andrade (2007, p.29), destaca que na última década, a política nacional de habitação passou por uma revisão profunda e inseriu a expressão “*habitação de interesse social*” em um patamar que contemple classes sociais distintas, que envolve um universo amplo, que vai além do amparo de famílias com renda familiar de 0 a 3 salários mínimos. Este contexto pode ser explicado pelo avanço econômico do País nos últimos anos, desencadeado por uma política de crescimento potencializado, que busca integrar parte da população que possui renda familiar superior, mas que enfrenta dificuldades para adquirir a casa própria.

A habitação de interesse social não deve ser vista apenas como um produto que suprirá as necessidades de abrigo, mas deve ser entendida como um processo permanente, de dimensões físicas, sociais, ecológicas, tecnológicas, políticas, que envolvem o ambiente interno da edificação e o externo que o circunda. Faz-se entender, esta fundamentação para enfim buscar soluções sensatas para os problemas habitacionais no Brasil, integrando diretamente os moradores com o entorno. A avaliação cultural da região deve ser enfatizada para direcionar estratégias, que insiram os atores sociais num ambiente familiar (ABIKO, 1995, p.12).

---

<sup>1</sup>BNH é a sigla para Banco Nacional da Habitação

A valorização do uso da moradia, intensificadas pelo ângulo de visão do profissional de arquitetura, referenda e autentica a existência de fatores subjetivos e culturais que vão além das análises físicas arquiteturais, incompreensíveis em alguns casos, por quem intervêm diretamente na concepção do projeto. As habitações de interesse social devem ser assistidas de maneira intrínseca pela perspectiva dos arquitetos, incrementando a identidade dos atores sociais (ANDRADE, 2007, p.20).

Diante do exposto, Andrade (2007, p.21) ressalta que:

Compreendido seu destaque, entende-se, conseqüentemente, que sua importância está no papel que representa, ao mesmo tempo, como elo que junta sujeito e objeto; e como a cadeia que garante inseparabilidade destes elementos. Morador e moradia, entre trocas variadas, anseios, dilemas e contradições, dão vida à moradia. Esta relação, todavia, não se dá a frio, mas sob forte tensão social, que é lógica numa comunidade de vizinhança que disputa espaços e interesses, divide sentimentos e convive com gostos e desejos, muitas vezes, contraditórios. Este cenário reforça a necessidade de se procurar uma chave apropriada para abrir portas e subtrair véus emaranhados de elementos que são gerados individualmente, testados coletivamente e transformados socialmente até se constituírem em consenso grupal inconsciente.

Para Larcher (2005, p.11), a interação entre as habitações de interesse social e suas condicionantes, aliadas aos fatores sociais, econômicos e ambientais, garantem constitucionalmente os direitos conduzidos ao cidadão que ali habita, inserindo as populações de baixa renda em ambientes acessíveis e providos de infraestrutura de qualidade.

A nova política habitacional de 2004, alterou os modelos da antiga política proposta pelas governanças antecedentes, ganhou forças e intensificou uma homogeneidade, com as demais políticas voltadas ao desenvolvimento urbano, tais como a mobilidade e transporte urbano, o saneamento ambiental e outras políticas do contexto social.

De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2014, p.59):

Nessa perspectiva, a Política Nacional da Habitação tem como componentes principais: Integração Urbana de Assentamentos Precários, a urbanização, regularização fundiária e inserção de assentamentos precários, a provisão da habitação e a integração da política de habitação à política de desenvolvimento urbano, que definem as linhas mestras de sua atuação.

### 2.1.2 O contexto da política brasileira de habitação social

Os preceitos da Política Nacional de Habitação/2004, concernem, que as moradias dignas devem abranger os direitos de incluir a sociedade dentro dos padrões mínimos, que garantem boa satisfação dos moradores no que diz respeito a mobilidade e transporte, infraestrutura, habitabilidade, saneamento ambiental e serviços urbanos sociais básicos. No entanto, o poder público passa a ser um agente regulamentador das questões urbanas, provendo moradias dignas, a regulamentação de posse de assentamentos precários, incluindo os atores sociais numa política participativa entre os órgãos governamentais e a sociedade, assumindo o papel de uma só instituição.

A política nacional de habitação enfrentou grandes transformações desde o ano em que foi criado o Ministério das Cidades em 2003, marcando uma nova fase com foco no incremento de demandas, que custeassem o sistema imobiliário. No ano de 2005, foi criado o Sistema Nacional de Interesse Social (SNHIS) e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS), destinados ao fomento de novos interesses interligados aos programas de habitação social de todas as esferas do governo. Destaca-se que os programas que contemplam famílias de baixa renda com habitações sendo unifamiliares ou multifamiliares, ganharam respaldo na última década e expansão dentro do cenário político nacional.

Segundo o Ministério das Cidades (BRASIL, 2014, p.22):

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a partir de 2007, incluiu e propiciou a expansão dos projetos de urbanização de assentamentos precários prevendo obras de infraestrutura como drenagem, abastecimento de água, esgotamento sanitário e iluminação pública, entre outras. A provisão de unidades habitacionais, tendo como prioridade as famílias de baixa renda, foi alavancada por meio do *Programa Minha Casa Minha Vida*.

Em 2008, o Plano Nacional de Habitação (PlanHab), estabeleceu novas diretrizes para a política habitacional, modificando o cenário integralizando com a política urbana, trazendo inovações com relação à política voltada às famílias de baixa renda. Ao final daquele ano, frente ao cenário de crise mundial, a atividade imobiliária também passou a ser vista como fundamental para alavancar o ciclo de crescimento e o nível de empregos no Brasil (BRASIL, 2014, p.19).

Para o Ministério das Cidades (2014, p.19), O “Programa Minha Casa, Minha Vida” (PMCMV), surgiu em 2009 com estratégias que ampliassem o acesso das

famílias de baixa renda à casa própria. Simultaneamente, com o aumento da produção e da aquisição de novas unidades habitacionais, o PMCMV visava o aumento de emprego e renda para as populações de classe menos favorecida, através de novos investimentos no setor da construção civil.

A princípio, o PMCMV proveu a construção de aproximadamente 1 milhão de moradias, no intuito de reduzir o déficit habitacional brasileiro. De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2014, p.19) “A meta inicial foi cumprida com um valor contratado de R\$ 55 bilhões”. Entre 2009 e 2014 o PMCMV consolidou a construção de outras 3,6 milhões de unidades habitacionais diante de um investimento estimado em R\$ 220 bilhões.

Para o Ministério das Cidades (BRASIL, 2014, p.20):

Diante do desafio de aumentar o acesso das famílias à moradia digna, é de fundamental importância o acompanhamento constante dos resultados dos programas habitacionais, buscando aprimorar a sua execução e, com isto, alcançar a promoção do desenvolvimento.

Segundo dados relacionados à pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2008, o Brasil continha um expressivo déficit habitacional, alcançando cerca de 7,9 milhões de moradias, o que corresponde a 21% de toda a população brasileira do fim da década passada. Perante o contexto geral, a necessidade de criação de um programa que pudesse coibir esta problemática se tornara urgente com a previsão de surgimento a curto prazo, diante das viabilidades do governo federal.

De acordo com a Caixa Econômica Federal (2017), atualmente, o PMCMV está na sua terceira etapa na qual, foram feitas no início de 2017, modificações que ajustaram as faixas de rendas e suas condições de financiamento de habitações. Referente aos dados atualizados da Caixa Econômica Federal (2017), o programa apresenta distinções de acordo com as condicionantes para a faixa de renda familiar, sendo:

- Faixa 1: inclui no programa, as famílias com rendimento mensal de até R\$ 1.800,00;
- Faixa 1,5: insere aquelas famílias que possuem renda mensal de até R\$ 2.600,00;

- Faixa 2: inclui no programa, famílias que possuem renda mensal de até R\$ 4.000,00;
- Faixa 3: insere aquelas famílias que possuem renda mensal de até R\$ 9.000,00.

Segundo Palermo et al. (2007 apud SILVA, 2015, p.25), as novas políticas habitacionais do Brasil, tratam com maior restrição os aspectos qualitativos das habitações de interesse social, tendo como premissa solucionar os expressivos dados quantitativos do déficit habitacional, afim de proporcionar moradias e preocupar-se com os índices em questões numéricas. Em uma visão mais detalhada, os aspectos sociais relacionados a esse assunto, passam a ser desconsiderados.

Os processos de planejamento adotado pelos órgãos governamentais, visam diminuir em larga escala a defasagem do acesso à habitação social, mas englobam várias outras questões qualitativas. Com a redução dos custos no processo de implantação desses investimentos, padrões construtivos são adotados, para que os recursos se prolonguem assistidas por uma economia de procedimentos padronizados (KUHN; NERBAS, 2010).

Todavia, de acordo com Palermo et al. (2007 apud SILVA, 2015, p.26), para a aquisição das moradias pela população de baixa renda, as construtoras adotam medidas construtivas, que visem maiores investimentos em edificações que sejam construídas através de custos mais baixos, tendo em vista soluções que supram as necessidades em termos quantitativos. Por outro lado, uma redução qualitativa e a padronização excessiva dos métodos construtivos são provocadas pela falta de bom senso e de preocupação com as condicionantes ambientais e regionais que impactam diretamente, na rotina dos futuros usuários, itens ignorados na realização dos empreendimentos. Como resultado, muitos desses padrões são proliferados por todo o território nacional, originando uma política de massificação e adensamento de novos conjuntos habitacionais de baixa renda, que, em muito dos casos apresentam índices de habitabilidade inferiores, com soluções que não atendem às questões funcionais para uma arquitetura racional.

Segundo Silva (2015, p.27), as edificações de interesse social que abrigam seus moradores com níveis de conforto satisfatórios e proporcionam melhores sensações de bem-estar, tratam com relevância as condicionantes básicas na

arquitetura, como o clima, a edificação como um todo e as pessoas que a ocupam. Os projetos de habitações de interesse social podem ainda ser considerados desafiadores para um contexto atual, para serem caracterizadas como eficientes e de qualidade, necessitam atender às necessidades básicas da população de baixa renda assim como proporcionar serviços em seu entorno (infraestrutura, saneamento, mobilidade, etc.).

Checchetto et al.(2015), afirma que:

A habitação de interesse social para ser sustentável precisa fundamentalmente de gestão de projeto, que pode significar: integração entre as demandas dos habitantes e do meio ambiente; adaptação à paisagem local, utilizando curvas naturais do terreno e minimizando o impacto na vegetação existente; orientação solar planejada, dispondo os cômodos da melhor maneira possível em relação ao sol; maximização de aberturas para ênfase na iluminação e ventilação naturais; captação e reutilização da água da chuva; utilizar métodos e matérias construtivos menos agressores ao meio; minimizar os resíduos de obra. Esses são apenas alguns dos princípios que podem ser adotados para a prospecção e realização de um projeto de habitação popular com qualidade e ecologicamente correto, porém, não necessariamente precisa abranger todos os quesitos, desde que exista alguma preocupação ambiental.

As características regionais de um projeto influem diretamente, no desempenho térmico das edificações. Essas condicionantes locais, quando não são priorizadas e adequadas ao projeto, podem proporcionar desconforto aos seus moradores, que passam a investir em mecanismos de refrigeração artificial no intuito de garantir maior conforto, a todos que ali habitam. Essa estratégia não é a mais correta para as classes de baixa renda menos privilegiadas, que possuem baixos recursos para fazer o investimento, operar as manutenções periódicas e sustentar os elevados consumos de energia (SILVA, 2015, p.27).

Além do desconforto térmico, a desconsideração das condicionantes climáticas regionais, podem ocasionar patologias na edificação e elevado consumo de energia, comprometendo a saúde física e psicológica dos moradores. Desse modo, é importante destacar o papel dos atores técnicos (arquitetos urbanistas), que desempenham função de destaque na concepção do projeto, fase preliminar na qual se deve tratar minuciosamente, de cada fator bioclimático (SPANNENBERG, 2006).

Dumke (2002, p.15), afirma que:

O conforto térmico é um dos requisitos básicos para que os ambientes apresentem o melhor nível de habitabilidade. Sua importância relaciona-se não só à sensação de conforto dos seus usuários, como também ao seu desempenho no trabalho e à sua saúde. Sendo assim, enquanto para a

população de classe média e alta a qualidade térmica insatisfatória das edificações significa aumento de consumo energético com climatização artificial, para a população de menor poder aquisitivo a inadequação térmica das habitações significa desconforto térmico.

Para Silva (2015, p.28), atualmente, no Brasil, é observado a predominância de órgãos governamentais, que atuam em todo o território nacional como agentes incentivadores da redução do déficit habitacional, promovendo créditos para a população de baixa renda, como também fomentando a construção de novos empreendimentos habitacionais. A centralização das tomadas de decisões, originou uma padronização de novas soluções, beneficiando as construtoras que aplicam sem ponderação, sistemas construtivos repetidos em todo o Brasil, desconsiderando as características locais, resultando na construção de edifícios com baixos índices de habitabilidade, no que diz respeito ao conforto térmico.

Torna-se evidente o descaso por parte dos responsáveis pela promoção das habitações de interesse social, que ignoram as condicionantes bioclimáticas locais, dando a mínima relevância às propriedades térmicas dos invólucros da edificação na etapa de projeto, utilizando procedimentos construtivos, que distorcem o assunto referente a sustentabilidade de edifícios (KRÜGER, 2003, p.78).

Facilmente, observa-se esse fato intrínseco nos programas habitacionais difundidos na última década, no Brasil. As mesmas tipologias construtivas são implantadas em todo o território brasileiro, seguindo um padrão estético e funcional, sem considerar as peculiaridades locais, sem atender também as necessidades básicas dos moradores (SILVA, 2015, p.28).

Dentro do processo de construção de habitações para a população de baixa renda, fatores e aspectos distintos devem ser tratados com maior relevância, iniciando pela escolha adequada do terreno a ser implantado o projeto, a preocupação pelas condicionantes de entorno, adequação dos métodos construtivos e o emprego correto dos materiais construtivos diferenciados de região para região, seguindo as avaliações finais pós-ocupação da edificação. Nesse sentido os melhores índices de habitabilidade serão inseridos com competência (SILVA, 2015, p.28).

### 2.1.3 O conforto térmico nas habitações de interesse social

A incidência solar sobre as edificações representa o acúmulo de calor em função da intensidade de radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros do edifício. Frota e Schiffer (2006, p.53), afirmam que:

Adequar a arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto. À arquitetura cabe, tanto amenizar as sensações de desconforto impostas por climas muito rígidos, tais como os de excessivo calor, frio e ventos, como também propiciar ambientes que sejam, no mínimo, tão confortáveis como os espaços ao ar livre em climas amenos.

O conforto térmico torna-se importante ao relacionar o conforto das pessoas com as condições explícitas em seu entorno, sendo estas, características internas da edificação e do espaço urbano na qual está inserida. O clima urbano é uma variável resultante do processo de modificação da natureza e suas propriedades atmosféricas (emissão de poluentes por agitações urbanas), o que acarreta na concentração de ilhas de calor no microclima da cidade como também nas zonas periféricas em que a edificação está inserida.

As mudanças climáticas e as estações do ano, modificam as variáveis térmicas, ocasionando maior ou menor desconforto. Contudo, é possível controlar o clima interno da edificação, mas suas variáveis externas não. O zoneamento bioclimático e a localidade da edificação, somada às modificações da natureza em questão, podem comprometer na eficiência térmica da casa. Portanto, é importante salientar a necessidade de implementações estratégicas projetuais e medidas que possam ser adotadas a longo prazo, no intuito de reduzir os impactos decorrentes do desconforto térmico.

Para Grzybowski (2004, p.14), “o arquiteto deve aplicar os conceitos bioclimáticos e de eficiência energética de forma qualitativa, desde o início do projeto”. Isto se torna mais fácil quando se trata de edificações de pequeno porte (habitações unifamiliares), em que o número de condicionantes envolvidas é menor e a possibilidade exploratória dos parâmetros naturais (iluminação, ventilação e sombreamento) são maiores.

Segundo Oliveira et al. (2008 apud SILVA, 2015, p.64), “a concepção correta do sistema construtivo melhora substancialmente o conforto térmico da edificação e, conseqüentemente, sua eficiência energética”. A concepção do modelo construtivo

que será adotado em uma edificação de maior porte, com maiores recursos financeiros, deve ser considerada também para edificações de pequeno porte (habitações populares), propondo soluções, que exploram as condicionantes naturais (ventilação natural, iluminação e orientação solar) atrelado as melhores escolhas empregadas para os invólucros da edificação, proporcionando melhores condições de conforto ambiental nas edificações e contribuindo para uma utilização racional da energia.

Grzybowski (2004, p.17), afirma que:

A forma plástica dos edifícios interfere de maneira significativa quando estes apresentam extensas superfícies, em todas as faces da edificação, em situação de constante exposição à radiação durante toda a trajetória solar. No entanto, é a cobertura do edifício a superfície de maior exposição à radiação solar direta, pois nos trópicos, as superfícies mais atingidas são as horizontais.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.32), o planejamento apropriado na concepção do projeto, ocasiona um melhor aproveitamento das condicionantes climáticas para a edificação. Dar ênfase aos fatores paisagísticos, que complementam a localização da edificação, torna-se fundamental na adequação climática da mesma. A tomada de decisões corretas, por parte do arquiteto urbanista, consolida as melhores configurações climáticas no interior do edifício, um exemplo seria a inserção de componentes de sombreamento e aberturas estratégicas, que podem melhorar a ventilação cruzada do ambiente, o ganho de calor solar no inverno e a iluminação natural em um ambiente. Entretanto, se isso for feito de forma aleatória, resultados consequentes podem não somente ser indesejáveis, como também desfavorece o conforto térmico dos ambientes. As estratégias de sombreamento, claramente são soluções arquiteturais, que evitam a penetração direta da radiação solar durante os períodos de verão e permitem a entrada de radiação solar indireta nos períodos frios, em que o aquecimento dos ambientes é desejável.

## 2.2 Análise térmica das edificações

### 2.2.1 Conforto térmico

A ASHRAE (2004, não paginado), define conforto térmico como sendo “o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. Ou seja, é a sensação de bem-estar associada à relação entre o calor produzido pelo corpo e a temperatura do ambiente. Dessa forma, deve-se considerar que o estado fisiológico e psicológico varia de pessoa para pessoa.

A norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2003, p.5), explica conforto térmico como sendo a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Relacionando os dois conceitos, os níveis de conforto térmico são variantes que podem ser diferidas com a opinião de cada habitante de uma determinada casa.

A norma ISO 7.730 (2005, não paginado), considera que “um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais do que 10% dos seus ocupantes se sintam desconfortáveis”. O nível de atividades que cada pessoa efetiva, determina os índices de calor produzido, sendo uma variante relacionada entre o seu metabolismo, idade e sexo. A troca de calor com o ambiente externo pode ser feita por convecção, condução, evaporação e radiação. As temperaturas dos ambientes, a velocidade do ar exterior juntamente, da umidade relativa do ar, tornam-se condicionantes que influem diretamente, nos índices de conforto térmico de cada pessoa.

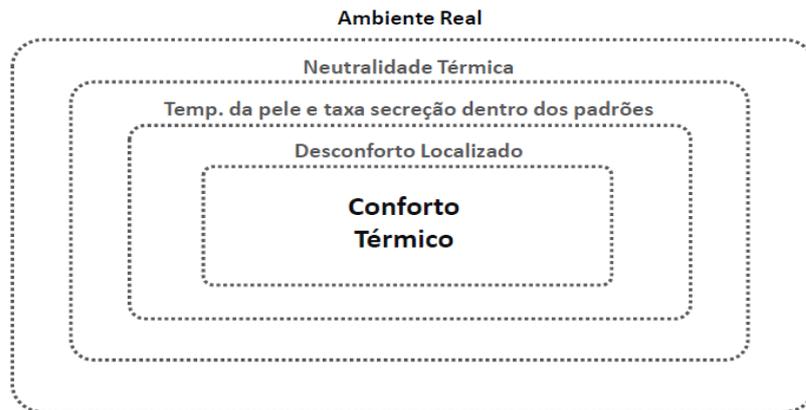
Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.4), a sensação de desconforto térmico provocados pelos altos índices de calor e frio, podem ocasionar insatisfação com o ambiente térmico quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando a troca de calor é inconstante, resulta no desbalanceamento provocado pela diferença entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.5), afirmam que neutralidade térmica:

É o estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, é trocado na mesma proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante.

A neutralidade térmica é necessária, para que se tenha conforto nas zonas térmicas da edificação (Figura 1). Vale lembrar que, cada indivíduo possui seu próprio metabolismo e suas variáveis físicas, podendo estar em neutralidade dentro de um ambiente, mas não justificando o seu conforto com o mesmo.

Figura 1– Esquema de definição da Neutralidade Térmica



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 2.2.2 Desempenho térmico

Segundo o CBIC<sup>2</sup> (2013, p.135), “o adequado desempenho térmico garante condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia”. O desempenho térmico das edificações é função das características dos materiais, que compõem seus elementos e repercute no conforto térmico dos usuários.

Os materiais que constituem o envelopamento (sendo eles sistemas de vedações verticais externas e coberturas) de toda a edificação, influem diretamente, nos níveis de desempenho térmico que a edificação obterá. Para garantir melhores condições térmicas, soluções viáveis como a adoção de isolamento térmico nos invólucros, devem ser enfatizadas de acordo com a região climática estudada. Os invólucros que contiverem maiores camadas de isolamento, conseqüentemente, obterão níveis de transmitância térmica menores, sendo os fatores citados, inversamente proporcionais. De acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013, não paginado) “menores valores de Transmitância Térmica do invólucro, garantem melhores níveis de desempenho térmico de edificações”.

<sup>2</sup> CBIC é a sigla para a Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

Siqueira et al. (2005, p.133) especifica que:

O desempenho térmico de edificações é um fator importante em habitações, principalmente naquelas destinadas a pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação gerencia os parâmetros globais do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes.

A Agência Internacional de Energia (International Energy Agency) ou IEA (2013), afirma que o envelopamento das edificações com materiais que contêm grandes capacidades de isolamento térmico, devem ser relevadas para a obtenção de benefícios, que estejam diante das demandas da sustentabilidade e eficiência energética. Em outras análises da perspectiva dos estudos de eficiência energética das edificações, são expostos pela agência, os impactos positivos na utilização de camadas construtivas com maiores capacidades de isolamento térmico, dentre esses impactos, estão as resultantes que diminuem os custos com saúde pública em geral.

As variantes externas (umidade relativa do ar, horários da radiação solar, temperatura externa, velocidade do vento), são características que influem nos valores gerais de aquecimento da edificação. Para a avaliação do desempenho térmico dos espaços edificados, tais variantes tornam-se importantes para a obtenção dos dados climáticos existentes para cada região, as quais por sua vez, definem os dias típicos nos períodos de inverno e verão, importantes para determinar as aferições de análises de desempenho térmico (SIQUEIRA et al., 2005, p.134).

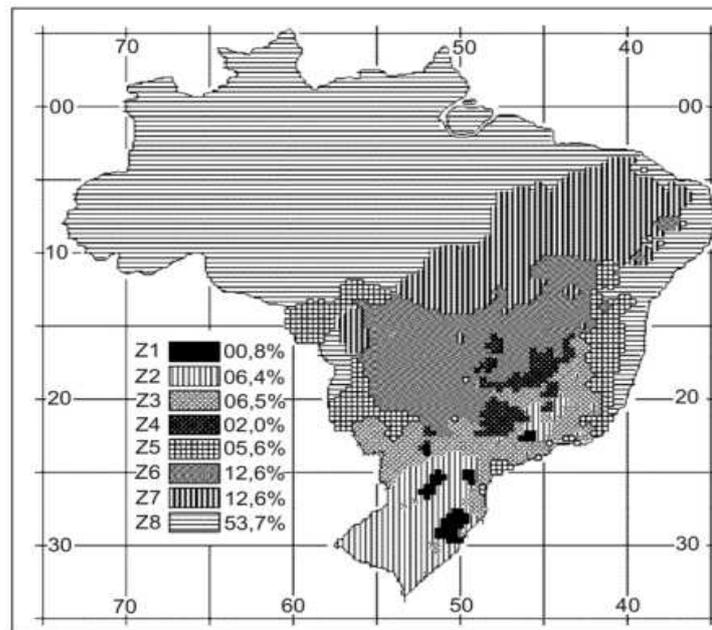
### 2.2.3 Zoneamento bioclimático

Segundo Calazans (2016, p.4), o amplo território brasileiro é definido pelas vastas variações climáticas, que configuram as condições quentes, úmidas, temperadas e áridas. Por este motivo, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), lista diversas soluções que devem ser aplicadas a diferentes regiões climáticas, com seus parâmetros de desempenho térmicos específicos, determinados pelas subdivisões dessas condicionantes climáticas. No entanto, essas subdivisões classificam-se em oito zonas bioclimáticas, especificadas pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2003), esta que

por sua vez, complementa os índices de habitabilidade, no que concerne ao desempenho térmico enfatizado na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Calazans (2016, p.5) afirma que “o zoneamento bioclimático do Brasil é definido de acordo com o clima e com as necessidades humanas de conforto”, como mostra a Figura 2. Diante do mapa exposto, é possível discutir as estratégias pertinentes a cada região delimitada, aplicando os índices corretos de conforto térmico para cada localidade (NBR 15220-3, ABNT 2003).

Figura 2 – Distribuição do Zoneamento Bioclimático no Território Brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2003).

De acordo com Siqueira et al. (2005, p.134) “o zoneamento bioclimático se faz presente para a padronização do clima brasileiro, em relação às análises térmicas variadas”. No contexto territorial, as oito zonas bioclimáticas se interligam de forma contínua, com condicionantes naturais diferentes. A norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2003) ressalta a importância de identificar a zona bioclimática de cada projeto, dentro do estudo preliminar do mesmo, aplicando as avaliações de desempenho térmico nos espaços edificados de interesse social, de até três pavimentos. Embora as mesmas recomendações se apliquem em outras tipologias edificadas, a norma estabelece para o zoneamento bioclimático brasileiro, diretrizes construtivas e o detalhamento das estratégias de condicionamento térmico, de caráter normativo

com base nos parâmetros das propriedades térmicas dos elementos construtivos e das condições de exposição do projeto.

Para Calazans (2016, p.4):

Ressalta-se ainda que a norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2003) não trata de condicionamento artificial. Seus critérios são estabelecidos com referência em condições naturais de ventilação, insolação, dentre outras. O desempenho térmico, a partir deste zoneamento, depende de diversas características locais (topografia, temperatura, umidade do ar, direção e velocidade do vento) e da edificação (materiais, pavimentos, dimensões, orientação das fachadas e janelas).

#### 2.2.4 Aplicação da bioclimatologia na arquitetura

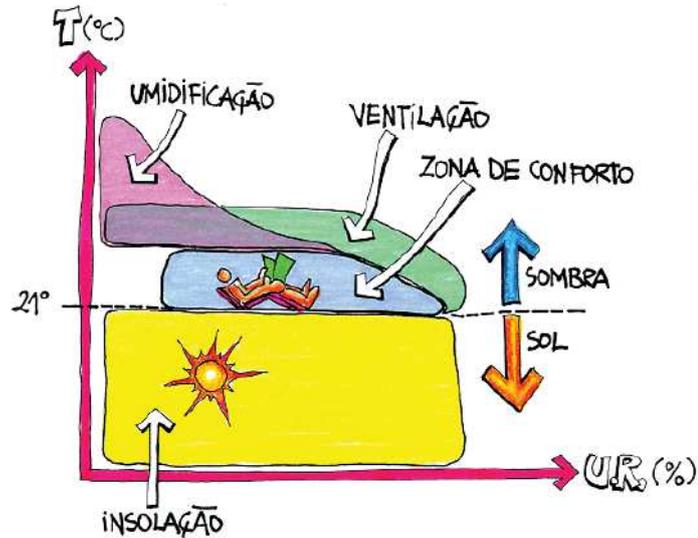
Mesmo após o entendimento do clima, dos conceitos de conforto térmico e das estratégias de projeto, que visam uma melhor integração entre usuário e clima, deve-se entender os impactos provocados por estes fatores na arquitetura e sua materialização perante a eficiência energética. Pode-se tirar partido ou evitar os efeitos destas variáveis, por intermédio da edificação, para que se obtenha ambientes internos com melhores condições de conforto para seus usuários (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.83).

Ponderando o emprego de sistemas de climatização artificial juntamente com as estratégias de resfriamento natural, ter-se-á maior equilíbrio, desenvolvendo os estudos necessários da arquitetura projetual, maximizando os efeitos das variáveis na edificação. “Deve-se conhecer os conceitos de bioclimatologia antes de aplicar as condicionantes naturais mais adequadas, uma forma de aplicar os estudos do clima às relações com os seres vivos” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.84).

Olgyay (1963) desenvolveu a expressão “Projeto Bioclimático”, no intuito de adequar a arquitetura ao clima local pondo em vista às necessidades humanas.

“A arquitetura assim concebida busca utilizar, por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objeto de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.84). A carta bioclimática de Olgyay (Figura 3), mostra as estratégias adaptativas da arquitetura vigente com o clima em questão.

Figura 3 – Carta Bioclimática de Olgay



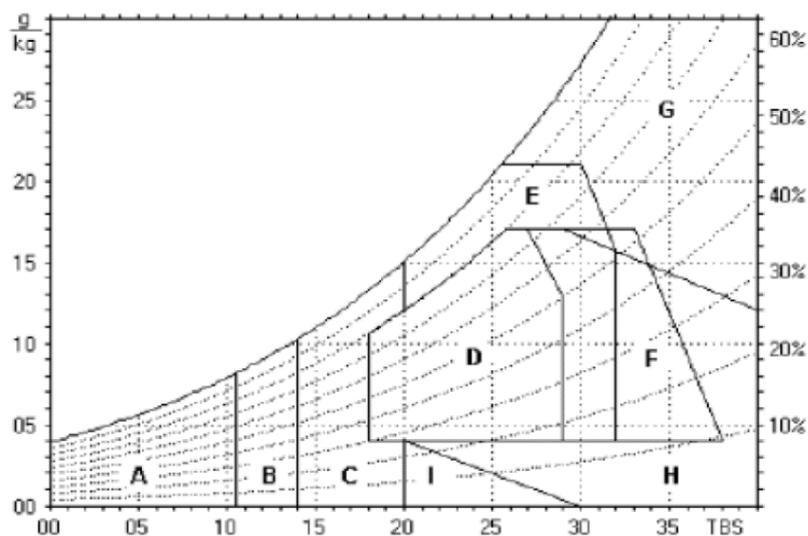
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Silva (2015, p.31):

Givoni propôs uma nova carta baseada no índice de 'Stress Térmico', que descreve os mecanismos de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. Contudo, esta mesma carta passou por adaptações significativas para habitantes que vivem em regiões mais quentes e úmidas.

Estas estratégias bioclimáticas são importantes para determinar as melhores soluções para cada região brasileira, no intuito de aproveitar os recursos naturais para prover projetos mais sustentáveis.

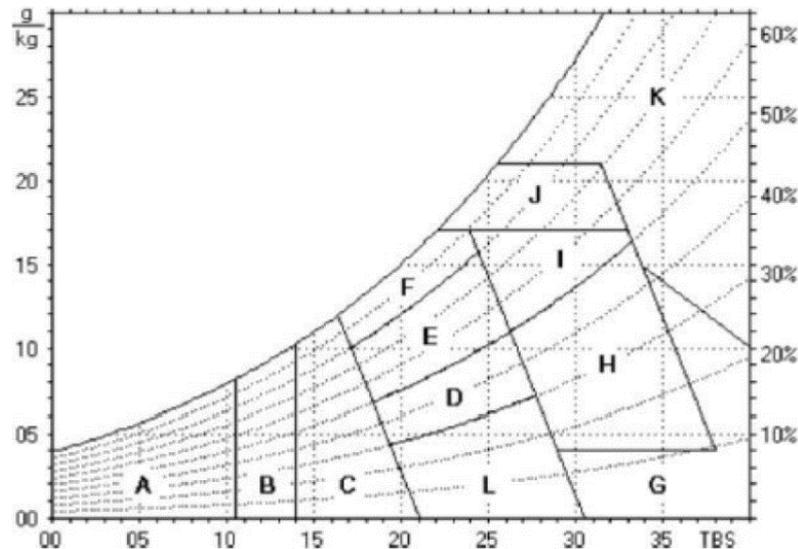
Figura 4 – Carta Bioclimática de Givoni



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (1999)

A norma NBR 15.220 (ABNT, 2003), preconiza diante das adaptações e a partir da verificação da carta bioclimática, com base na localidade de implantação do projeto (Figura 5), a capacidade de identificação das estratégias de condicionamento, para assegurar melhores índices de habitabilidade no que concerne ao desempenho térmico.

Figura 5 – Carta Bioclimática Adaptada



Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

De acordo com a carta bioclimática vigente na norma NBR 15.220-3(ABNT, 2003), apresenta-se as estratégias correspondentes às zonas, descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Detalhamento das zonas da carta bioclimática

Estratégia	Descrição
A	Zona de aquecimento artificial (calefação)
B	Zona de aquecimento solar da edificação
C	Zona de massa térmica para aquecimento
D e E	Zona de conforto térmico (maior percepção de conforto térmico)
F	Zona de desumidificação (renovação do ar)
G e H	Zona de resfriamento evaporativo
H e I	Zona de massa térmica de refrigeração
I e J	Zona de ventilação
K	Zona de refrigeração artificial
L	Zona de umidificação do ar

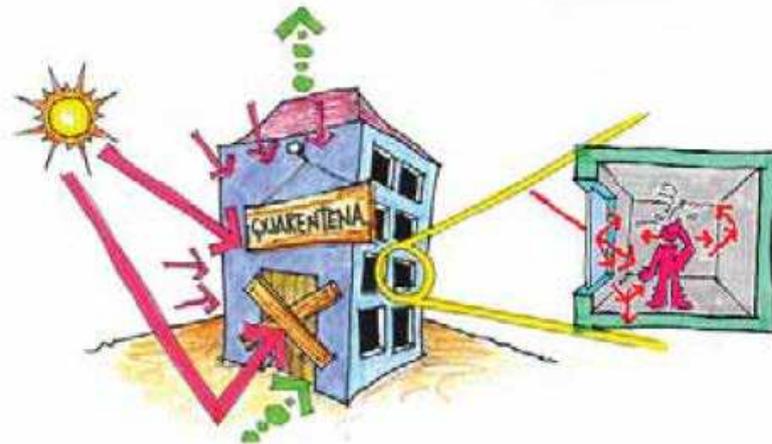
Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

Com base nas zonas estratégicas apresentadas na carta bioclimática, as respectivas áreas “D” e “E” são relevantes para a definição do conforto térmico, embora as áreas “A” e “K”, determinem estratégias de condicionamento térmico artificial. A NBR 15.220 (ABNT, 2003) determina que as avaliações de desempenho térmico dos espaços edificados, podem ser criadas na fase de projeto, durante a construção e após a construção. Outras avaliações podem ser feitas no local, através de medições, que buscam identificar as variáveis que representam o desempenho térmico no espaço construído, embora na fase de concepção do projeto, estas análises podem ser desenvolvidas com base nas verificações dos índices prescritos na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), como através de simulações computacionais.

No Brasil, a arquitetura deveria adaptar-se às necessidades de sombreamento e de acesso solar nos períodos de maior variação térmica do ano, o que não acontece. Tem-se exemplos de edifícios, que não exploram as técnicas de sombreamento adequadamente, e que, mesmo utilizando mecanismos de sombreamento e outros tipos de proteção solar, não aplicam de forma correta. Além disso, alguns edifícios mantêm suas fachadas envidraçadas com certo exagero, resultando em espaços internos muito quentes no verão e frios no inverno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.112).

De acordo com Belúcio et al. (2014, p.495), a influência direta de elementos meteorológicos, como a radiação solar, promove em grande escala, índices de aquecimento, que influem no desenvolvimento sustentável das edificações (Figura 6), que podem ser aproveitados e transformados em energias complementares à edificação, sendo a energia solar uma das principais fontes de armazenamento da radiação solar direta. Contudo, é importante ressaltar os estudos, que se relacionam com essas variáveis dentro das avaliações de desempenho térmico e eficiência energética, como soluções diretas, para o bom funcionamento da edificação.

Figura 6 – Trocas de calor por radiação em edifícios



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

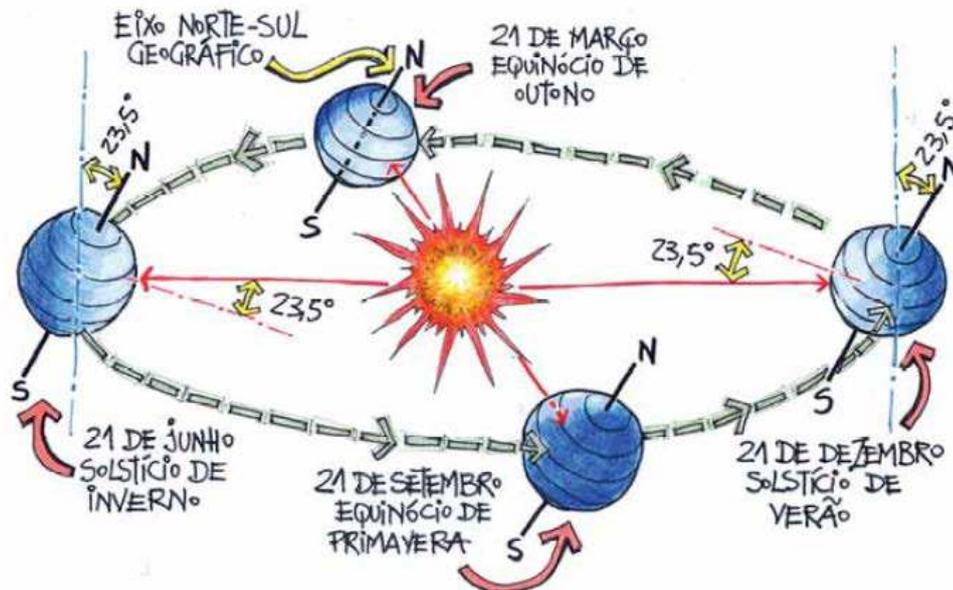
A radiação solar deve ser considerada um fator primordial para desencadear análises de eficiência térmica e energética nas edificações. Lamberts (2014, p.113), afirma que as transferências de calor por radiação podem ser divididas em cinco partes, sendo elas: radiação solar direta, radiação solar difusa, radiação solar refletida pelo sol e pelo entorno, radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu e radiação térmica emitida pelo edifício. Tais condicionantes determinam as temperaturas internas do ambiente edificado, como também as variações térmicas dos espaços externos.

Siqueira et al. (2005, p.135), afirma que:

As informações da edificação estão associadas aos recintos típicos, à posição geográfica, à orientação solar e às dimensões da edificação. A geometria arquitetônica influencia no conforto ambiental da edificação, bem como o seu consumo de energia. Isto se deve à interferência direta sobre os fluxos de ar para o interior e à quantidade de calor e luz recebidos pela edificação. A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma edificação é variável segundo a orientação e a época do ano.

Contudo, é relevante o conhecimento acerca da trajetória do globo terrestre em torno do sol, obtendo noções importantes sobre a influência de determinadas épocas do ano (variações entre o solstício e equinócio), na variação da radiação solar. A inclinação existente entre o eixo de rotação e o plano de translação da Terra, definem as épocas mais quentes (dias típicos de verão) e mais frias (dias típicos de inverno) do ano, em localidades com maiores latitudes (Figura 7).

Figura 7 – Trajetória da Terra ao redor do Sol



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.115), os solstícios acontecem por conta dessa inclinação mencionada, cujo valor é de  $23,5^\circ$ . Assim, no dia 21 de dezembro tem-se o solstício de verão no hemisfério sul e, simultaneamente, o solstício de inverno no hemisfério norte. Exatamente três meses depois a cada um desses solstícios, a Terra está numa posição em que o sol incide igualmente, em cada um dos seus hemisférios, e o ângulo de inclinação de  $23,5^\circ$  passa a não influir. Os equinócios ocorrem especificamente, nos dias 21 de março (equinócio de outono no hemisfério sul) e 21 de setembro (equinócio de primavera no hemisfério sul (Figura 7). Esta relação define as estações do ano, que são opostas para ambos os hemisférios, em cada uma dessas épocas do ano.

Não se pode desconsiderar a função dos ventos como estratégia bioclimática na arquitetura, pois sabe-se que é indispensável a análise de ventilação, sendo estas desejáveis no período de verão e indesejáveis no durante o inverno. Isto implica dizer que a variação térmica está relacionada aos períodos em que o vento pode ser diferente para cada local. Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.173) afirma que: “A ventilação natural é, após o sombreamento, a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil. A grande maioria das capitais brasileiras exigem a ventilação natural como principal estratégia no verão e mesmo ao longo do ano todo” (Tabela 1).

Tabela 1 – Tabela do percentual de necessidade de ventilação nas capitais

cidade	necessidade de ventilação natural (% das horas do ANO)	necessidade de ventilação natural (% das horas de VERÃO)
Belém	88,8	93,1
Brasília	17,3	36,3
Curitiba	6,84	19,9
Florianópolis	36,4	77,1
Fortaleza	85,8	92,3
São Luís	86,7	86,5
Maceió	76,4	84,9
Natal	84,2	88,7
Porto Alegre	23,3	59,0
Recife	67,8	76,2
Rio de Janeiro	60,9	78,0
Salvador	57,9	80,6
São Paulo	14,3	45,2
Vitória	60,9	87,4

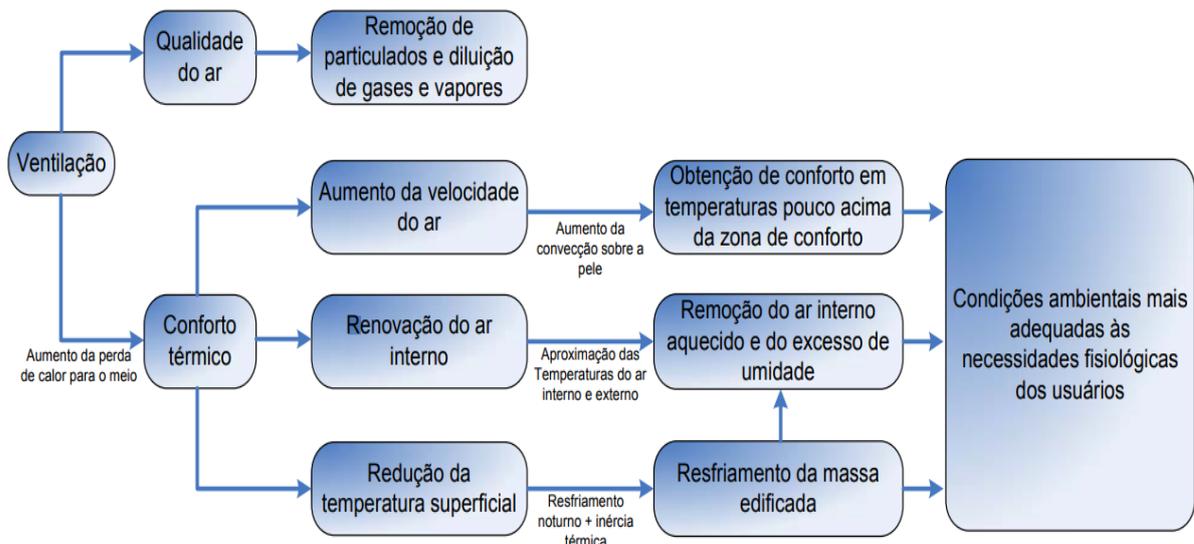
= cidades com grande necessidade de ventilação no ANO TODO  
 = cidades com grande necessidade de ventilação no VERÃO

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Nas regiões com climas tropicais quentes, a captação dos ventos externos em temperaturas mais amenas, tornam-se estratégias viáveis para melhorar a qualidade de conforto das zonas internas e de seus ocupantes. Nas regiões de climas áridos os recursos utilizados para o resfriamento da edificação podem ser caracterizados pela captação dos ventos frios noturnos, adentrando nos ambientes, favorecendo a ventilação cruzada. “Esta estratégia, aliada a elevada inércia térmica da envoltória, favorece a formação de um microclima interno mais ameno em relação ao externo” (CUNHA, 2010, p.17).

A Figura 8, representa os condicionamentos estratégicos para cada tipo de clima, que buscam utilizar a ventilação como princípio qualitativo para o desempenho térmico, listando o que se deseja obter com a ventilação cruzada. Esse embasamento é primordial para a identificação de elementos construtivos, que possam caracterizar em privilégios para os usuários da edificação.

Figura 8 – Fluxograma das funções da ventilação natural



Fonte: Cunha (2010).

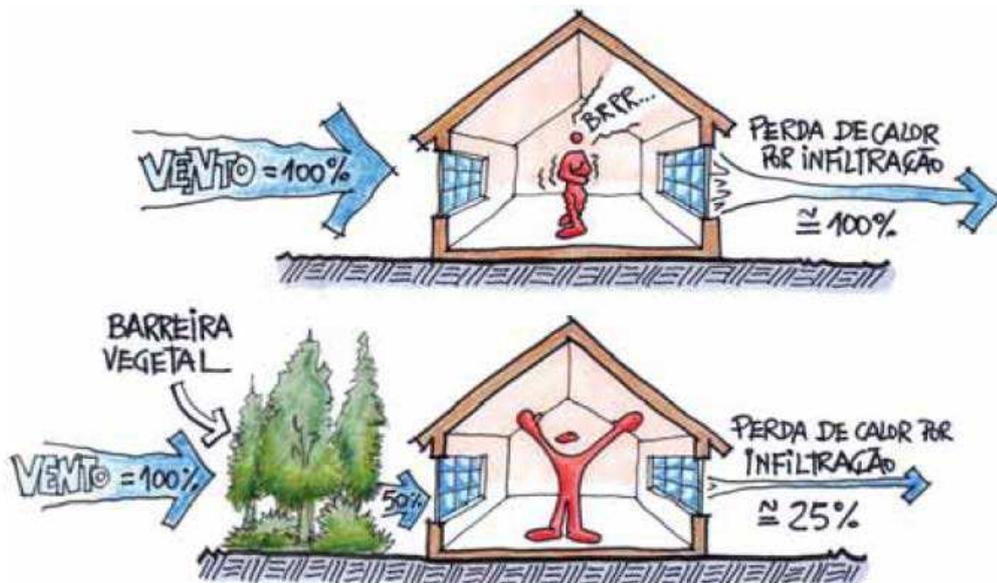
De acordo com Cunha (2010, p.18), além da remoção do calor resultando da renovação, a influência do movimento do ar, que circunda o indivíduo proporciona sensações de conforto térmico, pois através da convecção, as perdas de calor são facilitadas, ocasionando a evaporação do suor. Para os climas quente e úmido, este efeito convectivo torna-se bastante eficaz e benéfico, pois, em razão da umidade relativa do ar, a evaporação do suor é dificultada, proporcionando maiores sensações de bem-estar. A velocidade dos ventos é um fator a ser considerado na busca pela qualidade do ar interno, criando as renovações do ar e configurando um espaço salubre e de baixos índices de calor (Figura 9). Porém, a velocidade dos ventos também, propicia desconforto aos usuários das edificações, em locais mais frios.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.181): “a ventilação natural em ambientes é indissociável da orientação e da implantação do edifício no terreno. O vento predominante do verão deve ser explorado para resfriar os ambientes quando necessário”. É imprescindível a correta orientação da edificação dentro do terreno, para que a captação dos ventos, seja feita com maior precisão diante da implantação do projeto.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.181) complementam afirmando que “o vento predominante de inverno deve ser evitado, pois neste período do ano se quer evitar as perdas de calor da edificação para o exterior”. Elementos como a vegetação e componentes construtivos, trabalham como barreiras que influenciam

na redução da velocidade do vento e do ângulo de incidência da radiação, equilibrando as temperaturas o meio externo com o interno (Figura 9).

Figura 9 – Equilíbrio térmico entre o meio externo e interno



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

## 2.2.5 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

Os elementos construtivos e seus respectivos materiais, comportam-se termicamente, em função das suas propriedades térmicas. A NBR 15.220-1 (ABNT, 2003) estabelece definições adequadas às correspondentes propriedades relacionados com o desempenho térmico de edificações.

### 2.2.5.1 Absortância, refletância, transmitância à radiação e emissividade

Os elementos construtivos, podem desempenhar funções térmicas em relação à radiação térmica incidente, transmitindo, refletindo ou mesmo absorvendo e reemitindo esta radiação para o interior. A radiação incidente num material construtivo terá uma parte refletida, outra absorvida e caso seja um material translúcido, parcela dessa radiação também será transmitida diretamente para o ambiente interior, cujos valores dependerão respectivamente, da refletância ( $\rho$ ), da absortância ( $\alpha$ ) e da transmitância ( $\tau$ ) do material (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.209). De acordo com a NBR 15.220-1 (ABNT, 2003), pode-se conceituar essas propriedades da seguinte forma, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Definição de Absortância, Refletância, Transmitância e Emissividade

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Absortância à radiação	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície	$\alpha$	-
Refletância à radiação	Quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície	$\rho$	-
Transmitância à radiação	Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento	$\tau$	-
Emissividade	Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura	$\varepsilon$	-

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

A soma entre a absortância, transmitância e a refletância da radiação incidente, determinará um valor único (1) ou correspondente a 100% do total, dando origem à seguinte fórmula:  $\alpha + \rho + \tau = 1$ .

O Quadro 3, retirada da norma NBR 15.220-2 (ABNT, 2003) apresenta valores de absortância e de emissividade para materiais construtivos genéricos. Contudo, é válido ressaltar que estes, definem os padrões construtivos contemporâneos para habitações de interesse social.

Quadro 3 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	$\alpha$	$\epsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.209) definem emissividade como “uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo”. É importante destacar, que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor, nesse caso os materiais de construção podem ser organizados em metálicos (baixa emissividade entre 0,05 e 0,30) e os não metálicos (alta emissividade entre 0,85 a 0,90).

#### 2.2.5.2 Resistência térmica

A resistência térmica ( $R$ ) de um material refere-se a sua propriedade em resistir à passagem do calor. Quanto maior a espessura de um material, maior será a resistência do material, que permite o trânsito de calor. O envelopamento da edificação definirá o quão resistente será o sistema construtivo, já que o número de camadas construtivas pode representar um maior índice de resistência térmica à radiação solar. A NBR 15.220-2 (ABNT, 2003), define resistência térmica conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Conceituação de resistência térmica total

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Resistência Térmica Total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	$R_{\square}$	$(m^2.K) / W$

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

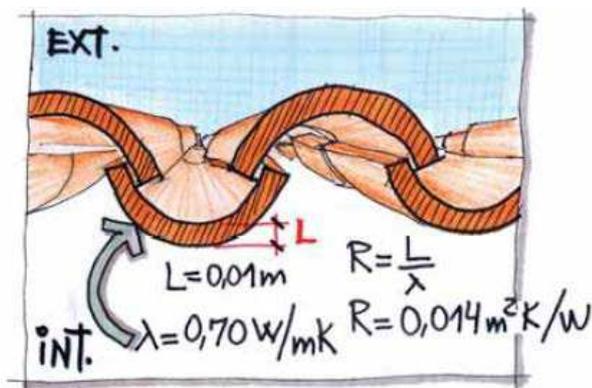
A fórmula que resulta a resistência térmica é:

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad [m^2K / W] \quad (1)$$

Onde: “R” será a resistência térmica do material ( $m^2.K/W$ ); “L” é a espessura (m) do material a ser estudado; e “ $\lambda$ ” passa a ser a condutividade térmica do material ( $W/m.K$ ).

A resistência do material homogêneo é calculada de modo independente, em que o valor da espessura do material é um dado de projeto e sua condutividade térmica pode ser retirada da norma NBR 15.220 (ABNT, 2003). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.211) “a resistência térmica de um material heterogêneo é calculada pela soma das resistências térmicas de cada elemento componente desse material. Esta soma pode ser feita em série ou em paralelo, conforme for a estruturação das camadas do material”.

Figura 10 – Exemplo para o cálculo de resistência térmica



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 2.2.5.3 Densidade, condutividade térmica e calor específico

O Quadro 5 extraída da norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2003), define densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico, descritos a seguir.

Quadro 5 – Conceituação de Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Densidade de massa aparente	Quociente da massa pelo volume aparente de um corpo	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Condutividade térmica	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	$\lambda$	W/(m.K)
Calor específico	Quociente da capacidade térmica pela massa	c	kJ/(kg.K)

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.210) definem condutividade térmica como “capacidade em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo”. Quanto maior a condutividade térmica do material, maior será a sua transmitância térmica final.

O calor específico pode ser definido como a habilidade que os materiais possuem para absorver o calor externo propagado por fontes de aquecimento. Enquanto a massa específica é definida como a massa média de um sólido por volume.

A norma NBR 15.220-2 (ABNT, 2003, p.9), apresenta valores para essas propriedades, englobando diversos tipos de materiais de construção em função da densidade de massa aparente determinada para o material. A norma também enfatiza, que os valores do Quadro 6 são indicativos, e sempre que possível, deve-se utilizar os valores medidos em laboratório.

Quadro 6 – Exemplos de alguns valores para densidade de massa aparente, calor específico e condutividade térmica, dos materiais construtivos

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

#### 2.2.5.4 Capacidade térmica do componente

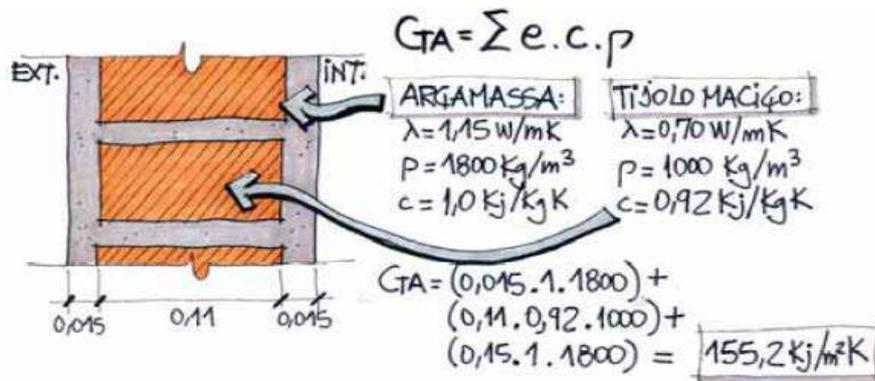
A capacidade térmica define a maior ou menor capacidade dos elementos construtivos em reter o calor da radiação solar, sendo uma propriedade importante para definir o fluxo de calor para os ambientes internos. Os materiais necessitam de uma grande quantidade de calor para modificar a temperatura de uma área edificada. “Através da obtenção do valor de capacidade térmica se pode avaliar o quanto um determinado material pode contribuir em termos de inércia para um ambiente” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.220).

A capacidade térmica também pode ser definida através da equação:

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_1 + (e \cdot c \cdot \rho)_2 + \dots + (e \cdot c \cdot \rho)_n \quad [\text{kJ/m}^2 \text{K}] \quad (2)$$

Onde: “e” = é a espessura (m) do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor); c = calor específico do elemento (kJ/kg.K);  $\rho$  = pode ser entendido como a densidade do elemento (kg/m<sup>3</sup>); n = é o número de camadas do elemento.

Figura 11 – Cálculo da capacidade térmica da parede de tijolo maciço rebocado



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

A Norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2003), define capacidade térmica de componentes da seguinte forma:

Quadro 7 – Conceituação de resistência térmica total

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Capacidade térmica de componentes	Quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área	$C_{\tau}$	$\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

### 2.2.5.5 Transmitância térmica

A transmitância térmica pode ser compreendida como uma medida da quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento do invólucro da edificação, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o divide. Essa grandeza física é utilizada para a definição das propriedades do isolamento térmico dos materiais, pois, expressa suas características de permeabilidade à passagem de calor.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p.215):

Em uma edificação, as trocas de energia (luz ou calor) entre os meios exterior e interior têm como cerne o envelope construtivo, que envolve o ser humano. No estudo desse 'envelope' devem ser considerados, simultaneamente, todos os fatores que intervêm no problema. Um deles é a radiação solar, diante da qual os materiais de construção se comportam de

modo distinto. É, portanto, conveniente distinguir o envelope construtivo em duas partes: os fechamentos opacos e os transparentes. A principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Portanto, o cálculo da transmitância térmica é determinado da seguinte maneira:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [W/m^2K] \quad (3)$$

A norma 15.220-1 (ABNT, 2003) define transmitância térmica conforme o Quadro 8.

Quadro 8 – Conceituação de transmitância térmica

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Transmitância térmica	Inverso da resistência térmica total	U	W/(m <sup>2</sup> .K)

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2003).

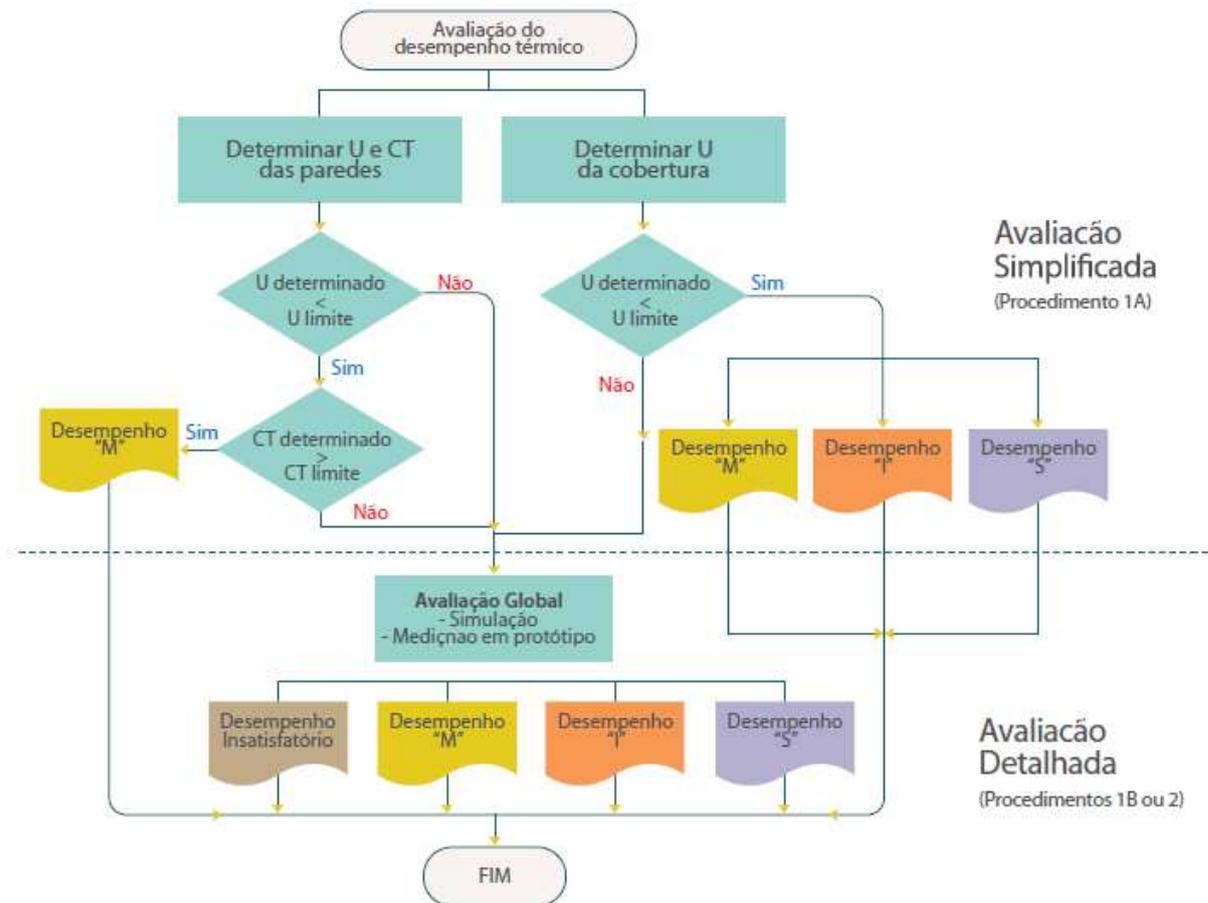
### 2.2.6 Requisitos gerais para análises de desempenho térmico de acordo com a ABNT NBR 15.575:2013

A norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), determina generalidades para unir características que atendam às exigências de desempenho térmico enfatizados na norma NBR 15.220 (ABNT, 2003). Desse modo, as duas partes se interligam, mencionando as características dos materiais e procedimentos padrões a serem utilizados na concepção do projeto.

Vale ressaltar que, as características bioclimáticas devem ser consideradas no âmbito regional, como especifica o zoneamento bioclimático preconizado na NBR 15.220-3 (ABNT, 2003). Assim sendo, os dias típicos de inverno como também os de verão, para cada zona bioclimática, são definidos conforme as condicionantes térmicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e radiação solar incidente), identificando o dia mais quente e o mais frio do ano, de acordo com as informações locais coletadas ao longo de todo o ciclo anual (CBIC, 2013, p.137).

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) estabelece um procedimento normativo que indica os procedimentos para a avaliação de desempenho térmico nos espaços edificados, sendo eles: método simplificado, de simulação e de medição. A Figura 12 apresenta os requisitos básicos para a avaliação do desempenho térmico.

Figura 12 – Métodos alternativos de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC (2013).

- Procedimento 1A – Simplificado (normativo): para este procedimento é verificado o atendimento aos requisitos e critérios para o envelopamento da edificação, com base na transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedações verticais externas/internas e sistemas de coberturas, com base na NBR 15.575-4 e NBR 15.575-5 (ABNT, 2013);
- Procedimento 1B – Simulação por *softwares* (normativo): para os casos em que as avaliações pelo método simplificado das normas NBR 15.575-4 e NBR 15.575-5 (ABNT, 2013), resultem em desempenho térmico insatisfatório, referente aos índices de transmitância térmica (U) e/ou capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedações verticais

externas/internas e sistemas de coberturas, é recomendado a avaliação térmica de todo o espaço edificado através de uma simulação computacional;

- c) Procedimento 2 – Medição *in loco* (informativo): este método verifica o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2013) através de medições dentro do ambiente edificado, caracterizando como um procedimento meramente informativo, que não se sobrepõe aos procedimentos anteriores descritos.

#### 2.2.6.1 Avaliação do Método Simplificado

O CBIC (2013, p.139) cita que “as paredes de fachada e cobertura da edificação habitacional devem reunir características que atendam aos critérios de desempenho térmico considerando o zoneamento bioclimático”. O conjunto edificado deve ser revisado pelo arquiteto responsável pela concepção da obra, para incrementar as melhores soluções que garantam o desempenho mínimo determinado pela norma.

No entanto, Chvatal (2014, p.133), destaca:

[...] a importância do procedimento simplificado, pois possibilita a rápida análise de habitações de interesse social, representando o comportamento térmico dessas habitações, considerando os totais parâmetros que influem no desempenho.

Esse método avalia diretamente os invólucros adotados no projeto, confirmando o seu desempenho térmico perante a zona bioclimática destacada.

Porém, Chvatal (2014, p.133) confirma que “os resultados adquiridos pelo procedimento simplificado não representam de forma correta os impactos da transmitância e da absorvância envolvente, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada”. Nesse sentido, uma vez obtido os resultados mínimos fornecidos pela análise simplificada, as temperaturas internas da edificação devem ser verificadas, utilizando ferramentas de simulações computacionais que interpretem as informações, através de dados coerentes, que confirmem o desempenho térmico da edificação.

### 2.2.6.2 Avaliação do Método de Simulação

Segundo o CBIC (2013, p.146) para se realizar as análises térmicas através do método de simulação computacional, devem ser tomadas como referência, os dados listados nas tabelas A.1, A.2 e A.3, presentes no Anexo A da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), que informa sobre os dados de localização geográfica das cidades brasileiras, como também os dados climáticos que correspondem aos dias típicos de verão e de inverno para cada zona bioclimática.

Os protótipos (geometrias ou modelagens), que servirão de modelo para as simulações computacionais, devem ser consideradas como uma habitação de espaços integrados, ou seja, deve-se considerar a habitação como um todo, destacando cada ambiente como uma zona térmica a parte. Na composição dos invólucros da edificação, que influirá diretamente nos dados da simulação, os materiais incrementados devem possuir características térmicas especificadas pelo fabricante ou obtidas em laboratório. Na ausência desses dados, deve-se consultar as propriedades térmicas listadas pela NBR 15.220-2 (ABNT, 2003), como referência, já que estes dados são padrões já elaborados.

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), especifica que, na realização das simulações computacionais, sugere-se a utilização do programa *EnergyPlus* como principal motor para fornecer os resultados das temperaturas internas nos dias típicos de verão e inverno.

De acordo com o CBIC (2013, p.147):

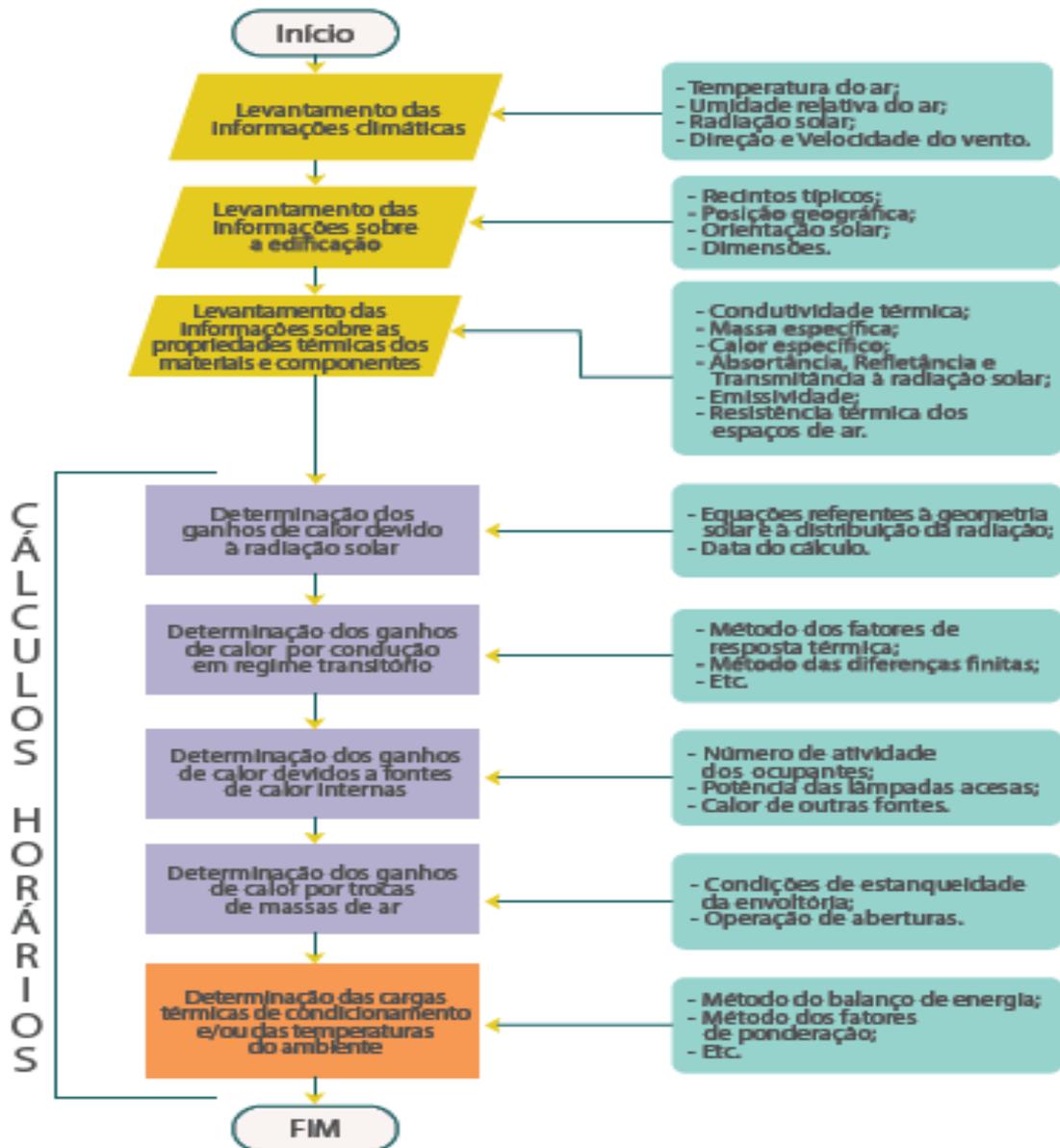
Outros programas de simulação podem ser utilizados, desde que sejam validados pela *ASHRAE<sup>3</sup> Standard 140* e permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica.

De forma geral, os *softwares* de simulação do comportamento térmico de edificações devem reunir as características básicas indicadas na Figura 13.

---

<sup>3</sup> ASHRAE é a sigla para *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Figura 13 – Características necessárias para *softwares* de avaliação térmica



Fonte: CBIC (2013).

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) preconiza que os profissionais que efetuarão o trabalho de simulação do espaço edificado, devem atentar para as análises das principais zonas térmicas, sendo estas, todos os recintos de permanência prolongada na unidade habitacional (salas de estar e dormitórios). Caso tenha uma indefinição da orientação do terreno juntamente, da edificação, a mesma deve ser posicionada no intuito de avaliar as condições mais críticas, no que concerne o desempenho térmico.

Como condições críticas do ponto de vista térmico, recomenda-se que:

- Verão: janela do cômodo 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;
- Inverno: janela do cômodo voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste; caso não seja possível, o ambiente deve ter, pelo menos, uma janela voltada para sul.

Portanto, as exigências anteriores ressaltam simulações de projetos em desenvolvimento, ou seja, aqueles que ainda não foram aprovadas e passam por série de modificações no processo criativo, para a obtenção das melhores estratégias para o desempenho térmico.

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), determina que nas simulações computacionais é importante atentar para as condições padrões de ventilação, que estão aferidas com uma taxa de 1 ren/h, ou seja, uma renovação de ar por hora dentro da zona térmica, incluindo os áticos das coberturas. Nessa condição de ventilação, deve-se considerar que as aberturas de janelas não dispõem de nenhuma proteção contra entrada de radiação solar (CBIC, 2013, p.149).

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), estabelece que:

A unidade habitacional que não atender aos critérios estabelecidos para verão, nas condições anteriormente mencionadas, deve ser simulada novamente, considerando-se as seguintes alterações:

- Ventilação: configuração da taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h - janela totalmente aberta) e janelas sem sombreamento;
- Sombreamento: inserção de proteção solar externa ou interna da janela com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta, que entraria pela janela, com taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- Ventilação e sombreamento: combinação da ventilação e sombreamento, ou seja, inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), determina critérios que alcancem valores máximos de temperatura, ou seja, recomendações em que a simulação computacional possa apresentar para o interior do espaço edificado, melhores ou iguais condições térmicas referentes ao do ambiente externo, sendo essas orientações aferidas para o dia típico de verão. Ressalta-se que, o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor

(ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

O nível para aceitação é determinado pelos índices M (denominado mínimo), I (denominado intermediário) e S (denominado superior), ou seja, que atenda aos critérios de valores máximos de temperatura, sendo mostrado no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$
<p><math>T_{i,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  <math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  <math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;            NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Para determinar os critérios que alcancem valores mínimos de temperatura, a norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), preconiza que valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, no dia típico de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C.

O nível para aceitação é determinado pelos índices M (denominado mínimo), I (denominado intermediário) e S (denominado superior), ou seja, que atenda aos critérios de valores mínimos de temperatura, sendo mostrado no Quadro 10 a seguir.

Quadro 10 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	
<p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

### 2.2.6.3 Avaliação do Método de Medição

A avaliação do desempenho térmico pelo método de medição, afere no local edificado, com base na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), medições que relatem as funções térmicas dos ambientes. É imprescindível que esse método reproduza todas as variáveis de projeto da habitação, na condição em que se encontram no momento da avaliação, como orientação solar e cor do fechamento externo. Esse procedimento de avaliação é meramente informativo, que prevê o desconforto térmico dos usuários através de análises sucintas, que não sobrepõem os métodos anteriormente descritos. A medição também “esbarra na dificuldade de ter que ser realizada em período correspondente ao dia típico de verão ou de inverno, precedido por, no mínimo, um dia com características similares, recomendando-se, todavia, trabalhar com uma sequência de três dias, para analisar os dados do terceiro dia” (CBIC, 2013, p.138).

### 2.2.7 Parâmetros de adequação dos elementos construtivos para o método simplificado, conforme a ABNT NBR 15.575:2013

#### 2.2.7.1 Adequação das vedações verticais externas

A NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais

externas, tomando partido de referência as definições, símbolos e unidades normativas da NBR 15.220-1 (ABNT, 2003) e NBR 15.220-5 (ABNT, 2003).

Os sistemas verticais de vedação externa podem ser avaliados, primeiramente, de acordo com os critérios de desempenho constantes na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), considerando o procedimento simplificado de análise. Caso as paredes externas não atendam aos critérios analisados, conforme o procedimento simplificado, é necessário aplicar o procedimento de verificação de acordo com a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), considerando o procedimento de simulação do desempenho térmico ou o procedimento de realização de medições em campo.

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), determina que no procedimento de simulação do desempenho térmico podem ser consideradas condições de ventilação e de sombreamento, conforme preconiza a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013). No caso da ventilação pode ser considerada uma condição “padrão”, com taxa de 1ren/h, ou seja, uma renovação de ar por hora do ambiente (renovação por frestas), e uma condição “ventilada”, com taxa de 5ren/h, ou seja, cinco renovações de ar por hora do ambiente sala ou dormitório. No caso do sombreamento das aberturas pode ser considerada uma condição “padrão”, na qual não há nenhuma proteção.

É imprescindível a utilização da norma por compreender o nível de desempenho térmico, que as edificações de interesse social desempenham na atualidade. Contudo, esses parâmetros devem ser seguidos para melhor eficiência do projeto.

Contudo, a norma especifica que os valores de transmitância térmica e capacidade térmica devem proporcionar um desempenho mínimo admissível, para sistemas de vedação externas, conforme apresentadas nos Quadro 11 e 12.

Quadro 11 - Valores de transmitância térmica para paredes externas

Transmitância Térmica U W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

<sup>a</sup>  $\alpha$  é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

Quadro 12 – Valores de capacidade térmica para paredes externas

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m <sup>2</sup> .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

### 2.2.7.2 Adequação das coberturas

A NBR 15.575-5 (ABNT, 2013) apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas, conforme definições, símbolos e unidades da NBR 15.220-1 (ABNT, 2003) e NBR 15.220-3 (ABNT, 2003). Nessa parte da norma, as exigências do protótipo são de apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar, que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática, seguindo as condicionantes de análises térmicas da própria NBR 15.220-2 (ABNT, 2003), tomada como parâmetro.

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente e a absorvância do elemento, em função das zonas bioclimáticas, encontram-se indicados no Quadro 13.

Quadro 13 – Critérios para os valores de transmitância térmica nas coberturas

Transmitância térmica (U)				
W/m <sup>2</sup> .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,30	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV
α é absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.				

Fonte: NBR 15.575-5 (ABNT, 2013).

## 2.3 Tecnologia BIM

### 2.3.1 Conceito e definições para tecnologia BIM

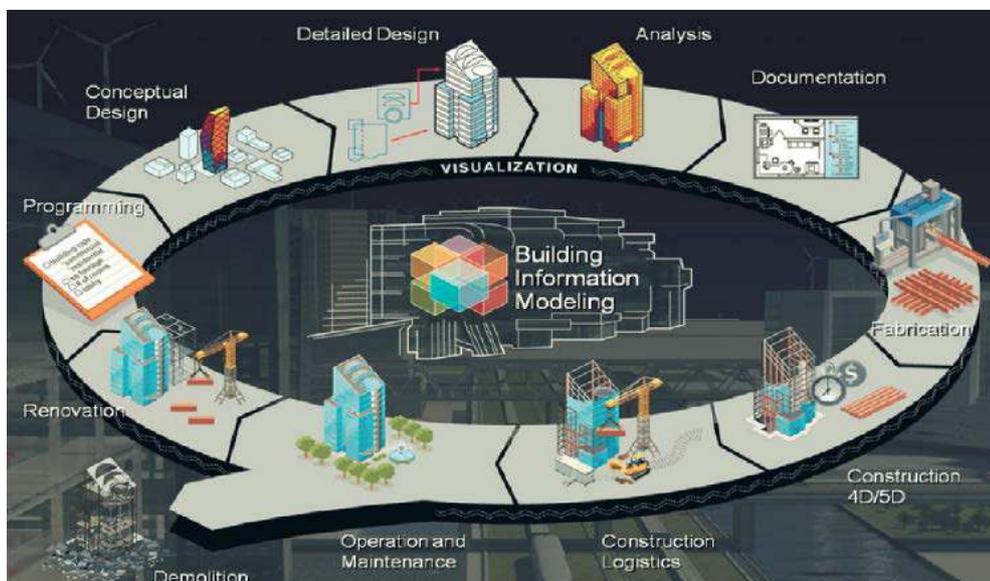
*Building Information Modeling* (BIM) consiste o processo de modelagem de informações da construção, acumulando um banco de dados preciso, capaz de gerir

todo o modelo construtivo em uma plataforma virtual. Pode-se considerar o BIM como uma plataforma, que guarda todos os aspectos construtivos do projeto, de modo integrado, a criar a interoperabilidade entre múltiplas disciplinas da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção).

O projeto elaborado com o auxílio da tecnologia BIM permite o desenvolvimento das peculiaridades da construção, simulando as etapas construtivas em um espaço tridimensional, englobando aspectos que definirão a eficácia e eficiência do projeto elaborado dentro da plataforma virtual.

O BIM também incorpora muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para novas capacidades da construção, modificações em série e relacionamentos da equipe envolvida no empreendimento. Quando implementado de forma adequada, o BIM agiliza um processo de projeto e construção de forma integralizada, resultando em obras, com qualidade superior em custo e prazo de execução. O BIM consiste em “um processo vantajoso que otimiza o desempenho do projeto a ser edificado” (EASTMAN et al., 2014, p.1).

Figura 14 – Ciclo da utilização da tecnologia BIM na construção civil



Fonte: Buildipedia.com (2017).

A princípio, o BIM surgiu no mercado no intuito de ser uma ferramenta de compatibilização da geometria do projeto. Facilmente, pode-se identificar aferições equívocas as ferramentas BIM, em que os profissionais da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), desenvolvem apenas parte do conteúdo do projeto

(anteprojeto, projeto básico e projeto executivo), deixando em segundo plano, as etapas de gerenciamento e continuidade do projeto a ser construído, que estão relacionadas a fase de interoperabilidade com a ferramenta BIM (CAMPESTRINI et al., 2015, p.7).

Segundo Campestrini et al. (2015, p.8):

Isto acontece sobretudo porque vê-se BIM exclusivamente como um 'desenho 3D', ou 'um software', negligenciando o que tange a mudança dos processos e pessoas. Pensando BIM apenas como software teremos basicamente os ganhos de enviarmos à obra um projeto totalmente compatibilizado (acredita-se assim em uma redução de 2% a 5% de custos), ao passo que se BIM for entendido como mudança de processo (envolvendo mudanças de cultura, hábito e pessoas) teremos inúmeros projetos para uma única edificação, sendo possível reduções de custos potencialmente 10 vezes maiores.

### 2.3.2 A tecnologia BIM e seus benefícios

Os benefícios BIM estão ligados ao uso operacional de todo o sistema, que o compõem, permitindo que colaboradores apliquem seus conhecimentos de forma direta em arquivos compartilhados e geridos para um único projeto. No Quadro 14 pode-se verificar alguns dos benefícios mais importantes do contexto BIM.

Quadro 14 – Benefícios acrescidos no uso das ferramentas BIM

<b>BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM</b>
Visualização precisa e imediata do projeto
Aferição de correções automatizadas de baixo grau, quando são feitas no projeto
Geração de desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer etapa do projeto
Colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto
Verificação facilitada das intenções de projeto
Extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto
Aplicação dos conceitos de interoperabilidade

Fonte: Eastman et al. (2014).

O modelo 3D gerado pelo software BIM é projetado diretamente, em vez de ser gerado a partir de múltiplas vistas 2D. Se os objetos usados no projeto são controlados por informações paramétricas que garantem alinhamento apropriado, então o modelo 3D será viável para construção. Desenhos precisos e consistentes podem ser extraídos para qualquer conjunto de elementos ou vistas específicas da construção. Isso fará com que aja uma redução significativa do tempo de elaboração

do projeto, assim como o número de erros associados com a geração de desenhos de construção para todas as disciplinas de projeto.

Em qualquer etapa do projeto, a tecnologia BIM pode extrair uma lista precisa de quantitativos e de espaços que pode ser utilizada para estimar o custo. Nas fases iniciais de um projeto, as estimativas de custos são dadas por componentes modelados e suas camadas atribuídas em níveis de desenvolvimento. Conforme o avanço do projeto, quantitativos mais detalhados estão disponíveis e podem ser utilizados para estimativas de custos mais precisas e detalhadas.

Contudo, para Eastman et al. (2014, p.21), os desafios do BIM impõem processos aprimorados em cada fase do projeto e da construção que reduzirão o número e a severidade dos problemas associados com as práticas tradicionais. O uso inteligente do BIM, no entanto, também causará mudanças significativas nos relacionamentos dos participantes do empreendimento e nos termos contratuais entre eles (contratos tradicionais são adequados às práticas baseadas em papel). Além disso, colaborações mais cedo entre o arquiteto, o empreiteiro e outras disciplinas de projeto serão necessárias, já que o conhecimento fornecido pelos especialistas é de uso mais intenso durante a fase de projeto (isso não é consistente com o atual modelo de negócios projeto-concorrência-construção).

### 2.3.3 As ferramentas BIM na arquitetura e suas especificidades

A atual geração de ferramentas BIM de projeto de arquitetura, incluindo os *Autodesk Revit® Architecture* e *Structure*, o *Bentley Architecture*, a família *Graphisoft ArchiCAD®* e o *Digital Project™* da *Gehry Technology*, assim como ferramentas que trabalham no âmbito de fabricação em série, como o *Tekla Structures*, o *SDS/2* e o *Structureworks*, desenvolveram-se a partir das capacidades da modelagem paramétrica baseada em objetos desenvolvidos para o projeto de sistemas mecânicos.

Esses conceitos emergiram como uma extensão das tecnologias CSG e B-rep, uma mistura de pesquisa universitária e intenso desenvolvimento industrial, particularmente pela *Parametric Technologies Corporation®* (PTC) nos anos 1980. A ideia básica é que outras propriedades e instâncias paramétricas possam ser definidas e gerenciadas de acordo com uma hierarquia de parâmetros nos níveis de conjunto e subconjunto, assim como no nível de um objeto individual. Alguns dos

parâmetros dependem de valores definidos pelo usuário; outros dependem de valores fixos, e outros são obtidos de formas diferentes ou são relativos a elas. As formas podem ser 2D ou 3D (EASTMAN et al., 2014, p.29).

Nos arquivos parametrizados, em vez de projetar uma instância de um elemento de construção, como janelas e pisos, um projetista define modelos de famílias, que operam dentro da tecnologia BIM, sendo estas, conjuntos de relações, regras e configurações para controlar os parâmetros, pelos quais as instâncias dos elementos podem ser geradas, mas cada uma irá variar conforme seu contexto e suas especificidades de projeto. No Quadro 15, segue a lista de ferramentas BIM, que utilizam da parametrização para adequação das famílias.

Quadro 15 – Lista das ferramentas BIM e suas famílias incorporadas, com base em dados pertinentes até meados de 2007

Ferramenta BIM Objetos Base	ArchICAD v 10	Bentley Architecture V8.1	Revit Architecture V9.1	Digital Project R5.v3
Modelo sólido com <i>features</i>	•	•	•	•
Modelo de terreno	•	• (Modelo de contorno)	• (Superfície topográfica)	
Definição do espaço	Manual	Manual	Sala (automático)	Sala (automático)
Parede	•	•	•	•
Coluna	•	•	•	•
Porta	•	•	•	•
Janela	•	•	•	•
Telhado	•	•	•	Objeto personalizado
Escada	•	•	•	Objeto personalizado
Laje	•	•	Piso	•
Final de parede	•	•		
Zona	•	Forro	Forro	
Viga	•			•
Objetos únicos para cada sistema	Claraboia, janela de canto	Shaft	Piso, cortina de vidro, grade, montante, braçadeira, fundação	Abertura, abertura por contorno

Fonte: Eastman et al. (2014).

De acordo com Eastman et al. (2014, p.33), “na manufatura, a modelagem paramétrica tem sido utilizada pelas empresas para embutir regras de projeto, de engenharia e de fabricação nos modelos paramétricos de seus produtos”. De forma conceituada, as ferramentas de Modelagem da Informação da Construção (BIM), demonstram modelos paramétricos baseados em configurações de dados aplicados nos arquivos de projeto, associados a um conjunto predefinido de famílias de

objetos; cada ferramenta possui suas características peculiares e possuem comportamentos programados e significativos dentro do BIM. A Tabela 16 apresenta os conjuntos de famílias de objetos predefinidas, que podem ser prontamente aplicadas aos projetos de edificações em cada sistema.

#### 2.3.4 O Autodesk Revit®

O Revit® é um dos *softwares* que comportam a tecnologia BIM, possibilitando a modelagem visual de uma edificação, atribuindo configurações integradas entre múltiplas disciplinas, interagindo em tempo real com seus relatórios quantitativos e de especificações. O universo do Revit® permite simular projetos antes da fase executiva.

Segundo Eastman et al. (2014, p.58), o Revit® é o mais conhecido e atual líder de mercado para uso do BIM em projetos de arquitetura. Ele foi introduzido pela Autodesk em 2002, depois da aquisição do programa de uma empresa iniciante. O Revit por ser uma ferramenta mais complexa no âmbito construtivo, tem suas características segregadas do AutoCAD, com código base e estrutura de arquivo diferentes. O Revit® é um conjunto de produtos integrados formados pelo Revit Architecture, o Revit Structure e o Revit MEP. Inclui interfaces gbXML para simulação de energia e análise de cargas; interfaces diretas com o ROBOT e o RISA, para análises estruturais e a habilidade de importar modelos do SketchUp, uma ferramenta de projeto conceitual, assim como possui dispositivos em seu contexto que interligam seus dados aos arquivos DXF. Interfaces de visualização incluem DGN, DWG, DWFT", DXF™, IFC, SAT, SKP, AVI, ODBC, gbXML, BMP,PG, TGA e TIF. O Revit baseia-se nos cortes 2D, como uma forma de detalhar a maior parte dos conjuntos.

O Autodesk® Revit foi criado exclusivamente, para a utilização de profissionais da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), contendo ferramentas específicas para os técnicos desse segmento. É uma ferramenta em que a concepção projetual ganha forma e volume para uma análise precisa da edificação e seus elementos construtivos. Com isso, todas as informações do projeto estarão salvas em um banco de dados através de um modelo construtivo ou protótipo virtual.

Assim, as simulações poderão ser geridas em um contexto de interoperabilidade, dinamizando as tarefas cotidianas e reduzindo os erros de projeto

através das resoluções de conflitos. Com esses benefícios, o Revit® passa a ser a ferramenta ideal para análises da construção, otimizando os custos e o tempo de execução.

### 2.3.5 A tecnologia BIM na análise de eficiência térmica

Vincular o modelo da construção às ferramentas de análise energética, permite a avaliação do uso de energia durante as fases preliminares do projeto. Isso é impossibilitado pelas ferramentas 2D tradicionais, que requerem que uma análise de energia separada, com a utilização de outros programas computacionais, seja realizada ao final do processo de projeto, reduzindo as oportunidades de modificações instantâneas e dinâmicas, que poderiam incrementar o desempenho energético da construção e otimizar o tempo de trabalho. A capacidade que o BIM tem de vincular o modelo da construção a vários tipos de ferramentas de análises, proporciona diversas oportunidades para melhorar a qualidade da construção em ganhos significativos (EASTMAN et al., 2014, p.18).

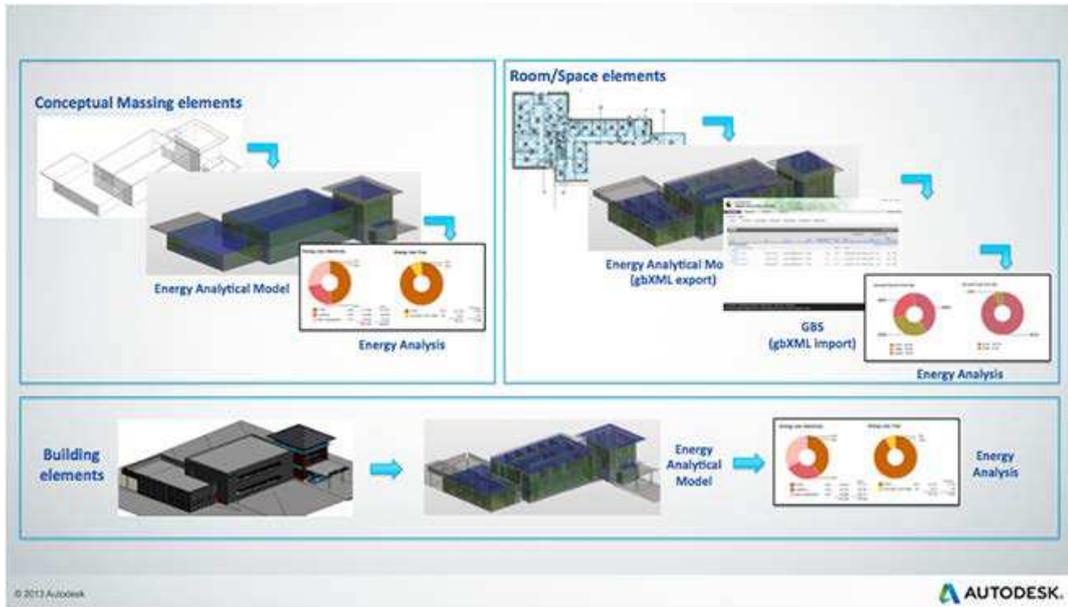
De acordo com Lima (2014, p.73):

O desenvolvimento de um modelo *Template* para avaliação do desempenho térmico de edificações e suas tabelas informativas de cálculos, permitem a rápida avaliação do desempenho térmico dos elementos modelados na interface BIM, dando ênfase nas exigências das normas de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) e NBR 15.220 (ABNT, 2005). A possibilidade de se verificar a aptidão de paredes e coberturas à validação quanto ao que preconiza a norma de desempenho térmico de edificações habitacionais simultaneamente ao seu desenvolvimento, promove um processo interativo de tomadas de decisão a respeito de propriedades e características de elementos da edificação e seus materiais. Desta forma, projetos são desenvolvidos sob uma ótica mais abrangente que não apenas consideram o estudo de formas, mas também prezam o bom funcionamento de edificações quanto às suas qualidades térmicas.

As ferramentas de análises ambientais, oferecem uma visão ampla dos comportamentos associados com um dado projeto, e fornecem uma avaliação antecipada da energia bruta e do uso da iluminação, de acordo com a radiação incidente nos objetos em seu ciclo de avaliação, bem como uma estimativa dos custos operacionais. Até agora, esses desempenhos eram apoiados principalmente, na experiência do projetista e em boas práticas. Essas aplicações têm uma compatibilidade limitada com ferramentas de projeto BIM existentes. Nesse sentido, as interfaces para exportação de dados em gbXML estão disponíveis no ArchiCAD®,

Bentley Architect e Revit®. O Ecotect possui interface em IFC com ArchiCAD® e Digital Project. O IES tem uma interface direta com Revit® (EASTMAN et al., 2014, p.161).

Figura 15 – Análise de eficiência energética de uma edificação na interface BIM



Fonte: Autodesk (2017).

Vale ressaltar que, as possibilidades de trabalho oferecidas pelo BIM não se limitam apenas à modelagem construtiva e inserção de novos componentes pré-configurados, é necessário explorar outros recursos avançados, principalmente, para anexar parâmetros normativos nas informações dos materiais, organizando tais dados, que servirão de base para outros trabalhos à frente.

## 2.4 Softwares de apoio para o método de simulação

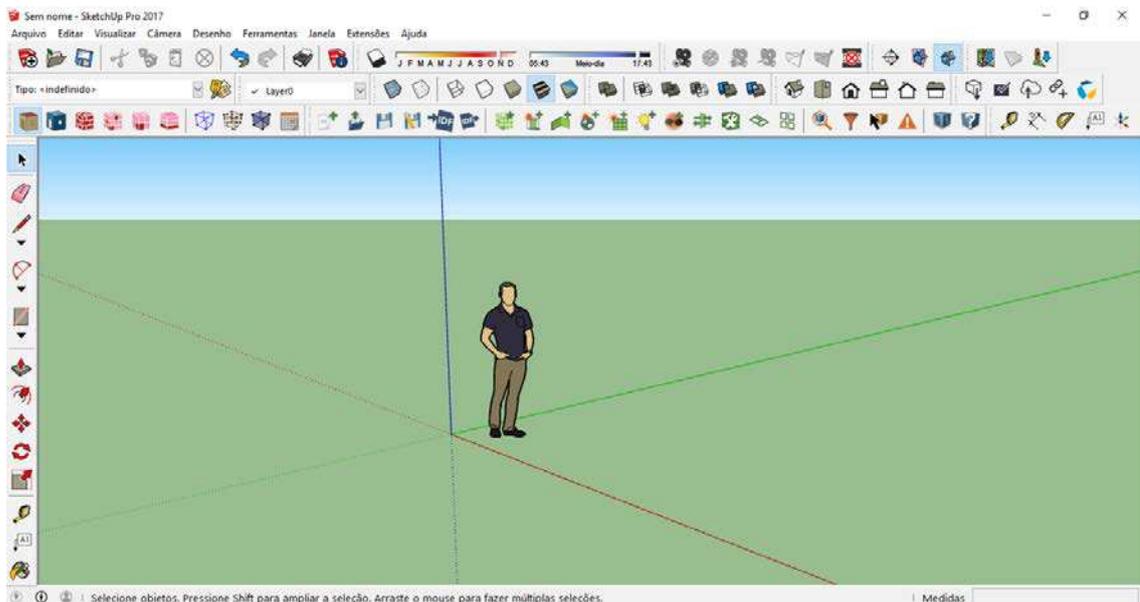
### 2.4.1 O Sketchup

Para Giacomini et al. (2007, não paginado):

O SketchUp é um software de modelagem que permite tanto criações totalmente flexíveis e livres de parâmetros fixos, quanto modelagens precisas, passíveis inclusive, de servirem diretamente de parâmetro para construções. Permite integração total com os principais programas de edição de imagens, modelos e vídeos. É um programa que atende tanto às necessidades mais básicas em modelagem - como nas primeiras explorações de construção volumétrica - como também atende a demandas profissionais mais exigentes.

O Trimble® SketchUp é uma ferramenta não-paramétrica, que permite uma rápida interação com o modelo tridimensional do projeto, disponibilizando edições simples e comunicativas. Uma das principais qualidades do SketchUp é a função de interagir com outros *softwares* através de *plug-ins* sem qualquer dificuldade, garantindo ao usuário, maior qualidade de trabalho e otimização de tempo em quaisquer segmentos da arquitetura, engenharia e construção.

Figura 16 – Demonstração da interface inicial do Trimble® SketchUp v.2017



Fonte: *Printscreen* da tela inicial do Trimble® SketchUp, Arquivo do autor (2017).

#### 2.4.2 O OpenStudio

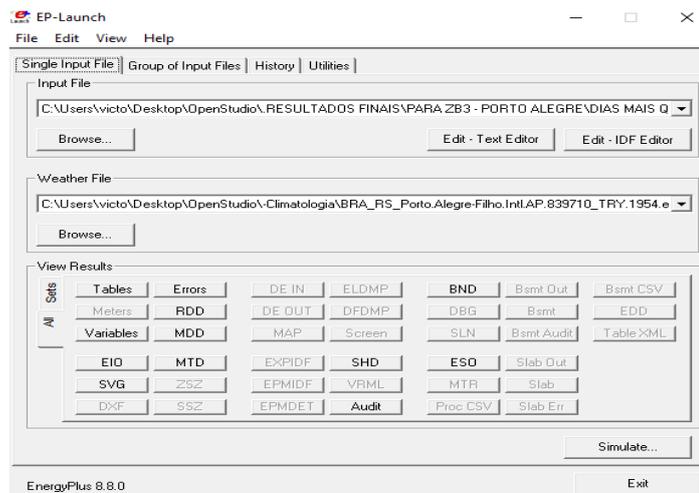
O OpenStudio® é uma plataforma de gerenciamento das configurações térmicas e de energia da modelagem de um dado projeto. Este aplicativo interage diretamente com a modelagem do Trimble® SketchUp e usa o EnergyPlus® como motriz para execução das simulações computacionais térmicas e energéticas. O aplicativo OpenStudio® consiste em uma interface gráfica totalmente, aberta para modelos de energia, incluindo as configurações do envelopamento, das cargas, da localização e instalações de HVAC. As conferências de resultados permitem a ampla análise de contexto energético da edificação, assim como também, possibilita a comparação dos dados de saída de simulação, com base em tabelas e gráficos. Tal ferramenta tem um papel fundamental, para a difusão das verificações preliminares

dos projetos, viabilizando as análises de desempenho da edificação antes de sua execução.

### 2.4.3 O EnergyPlus

O EnergyPlus™ é uma ferramenta validada pela ANSI/ASHRAE Standard 140 (2011) com as finalidades de desempenhar cálculos do consumo energético de edificações, bem como a avaliação do desempenho térmico do espaço edificado, sendo disponibilizado gratuitamente, pelo DOE a versão 8.8.0 (DOE, 2017). O Programa foi desenvolvido a partir da fusão dos programas DOE-2 e BLAST, aliada à possibilidade de análise de novos elementos e tecnologias da atualidade (MORENO, 2013, p.55).

Figura 17 – Demonstração da interface inicial do EnergyPlus™ v.8.8.0



Fonte: *Printscreen* da tela inicial do EnergyPlus™, Arquivo do autor (2017).

Para Moreno (2013, p.56), é possibilitada pelo Programa a simulação energética anual, o que favorece uma avaliação do comportamento da edificação, ao longo das várias estações, bem como entre regimes de ocupação diversos, como, por exemplo, meses de trabalho e férias. Para assegurar a simulação de forma correta é necessária uma modelagem precisa do projeto estudado, com características de suas envoltórias e dimensões de espaços. As informações bioclimáticas também devem ser especificadas, no que corresponde à localização geográfica, orientação solar, cargas térmicas internas, entorno, ciclos e sistemas de

iluminação, ventilação e ocupação. Enfim, todos os elementos construtivos e informações de entorno, que podem interferir diretamente, no consumo energético e no desempenho térmico de um edifício, devem ser especificadas. As simulações são baseadas em arquivos climáticos da cidade ou região, em que a edificação se situa, sendo, então, necessário verificar a já a disponibilidade ou criação do correspondente a uma dada edificação.

O EnergyPlus possui uma interface confusa e não muito amigável, tendo em vista, a utilização de outras ferramentas computacionais para complementar as informações de projeto, tornando mais fácil, o uso integral dos mecanismos de simulação do *software*. Porém, O EnergyPlus™ vem ganhando espaço entre os arquitetos, que a cada vez mais se preocupam com a aplicação das normas de desempenho das edificações, no que concerne a sustentabilidade.

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho se deu, inicialmente através da realização de pesquisas bibliográficas objetivando o entendimento das relações entre o meio ambiente e o espaço construído. O presente trabalho aferiu análises de desempenho térmico em uma habitação de interesse social, sendo esta inserida dentro do programa “Minha Casa, Minha Vida”, abordando o estudo nas edificações da Faixa 1 do programa do governo federal.

Com o auxílio da NBR 15.575 (ABNT, 2013) e suas exigências, foram feitos estudos comparativos da modelagem criada dentro da plataforma BIM, vinculando seus parâmetros de configurações térmicas com a norma de desempenho das edificações, que através dos métodos simplificado e de simulação, apresentou os resultados de desempenho térmico dos sistemas de vedação vertical externa/interna e coberturas.

O modelo construtivo foi inserido dentro de duas zonas bioclimáticas distintas (zonas 3 e 8), com fins de criar análises críticas dos métodos construtivos empregados no programa do governo federal “Minha Casa, Minha Vida”, analisando as similaridades de um mesmo projeto aplicado em regiões de contexto geográficos diferentes.

Foi imprescindível a utilização do Autodesk® Revit, que gerou o arquivo modelo de análises térmicas para o método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013), atrelado aos resultados obtidos para análises de simulação do desempenho térmico dos ambientes.

Como apoio, a utilização dos *softwares* Trimble® SketchUp, OpenStudio® e EnergyPlus™, tornaram-se indispensáveis para a elaboração das simulações computacionais das zonas térmicas da edificação, que complementaram os objetivos específicos do presente trabalho. As simulações computacionais também foram executadas, conforme as exigências da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Diante desta abordagem, o trabalho foi classificado quanto aos objetivos de pesquisa, como sendo explicativo e exploratório, pois objetivou analisar as condições de habitabilidade, dentro de um projeto arquitetônico, no que se refere ao desempenho térmico das edificações de interesse social.

### 3.1 Procedimentos metodológicos

#### 3.1.1 Definição do projeto

Na pesquisa, optou-se por uma habitação de interesse social, inserida na Faixa 1 do programa “Minha Casa, Minha Vida”, criando uma metodologia de análise compartilhada com outras tipologias.

O protótipo é representado por uma edificação de um pavimento, uma casa térrea de 46m<sup>2</sup> de área construída, composta por dois quartos, banheiro, sala, cozinha e área externa de serviço. Sua concepção foi desenvolvida pela construtora “Builders Construções”, que definiu suas especificações e custos de acordo com as exigências da Caixa Econômica Federal (CAIXA), aprovada para benefícios de aquisição por método de financiamento oferecido aos compradores.

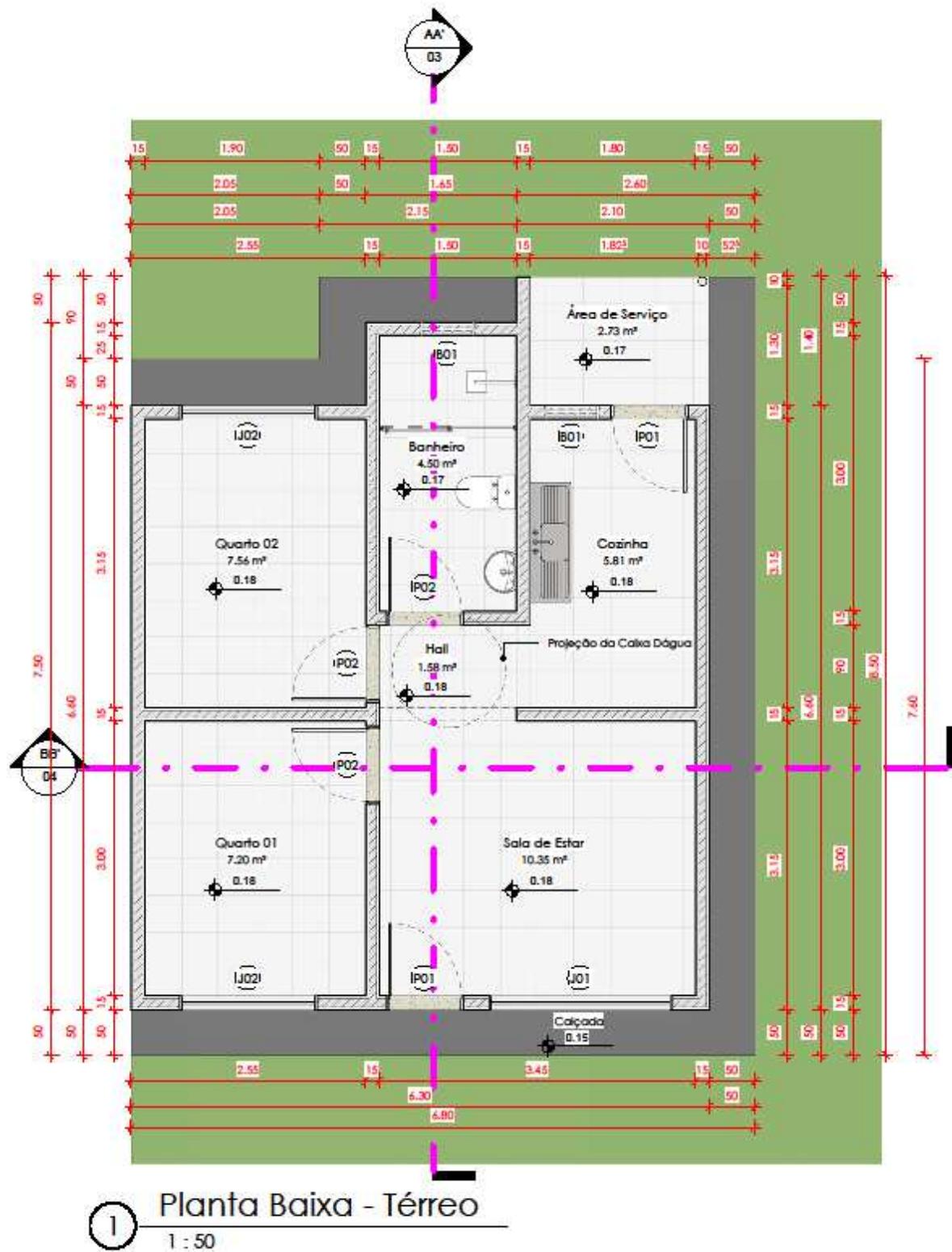
Quadro 16 – Distribuição das áreas úteis da edificação

<b>Cômodo</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Quarto 01	7,20
Quarto 02	7,56
Sala	10,35
Hall	1,58
Banheiro	4,50
Cozinha	5,81
Área de Serviço	2,76
<b>Área Total Útil</b>	<b>39,76</b>

Fonte: Arquivo do autor (2017).

O projeto arquitetônico base para o estudo de caso, foi transcrito para a plataforma BIM e está rigorosamente de acordo com as recomendações estabelecidas pela Caixa Econômica Federal. Os detalhes referentes ao projeto podem ser observados nas Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 e 25.

Figura 18 – Ilustração da planta baixa do pavimento térreo



Fonte: Builders Construções (2013).

Figura 19 – Ilustração da planta baixa da cobertura

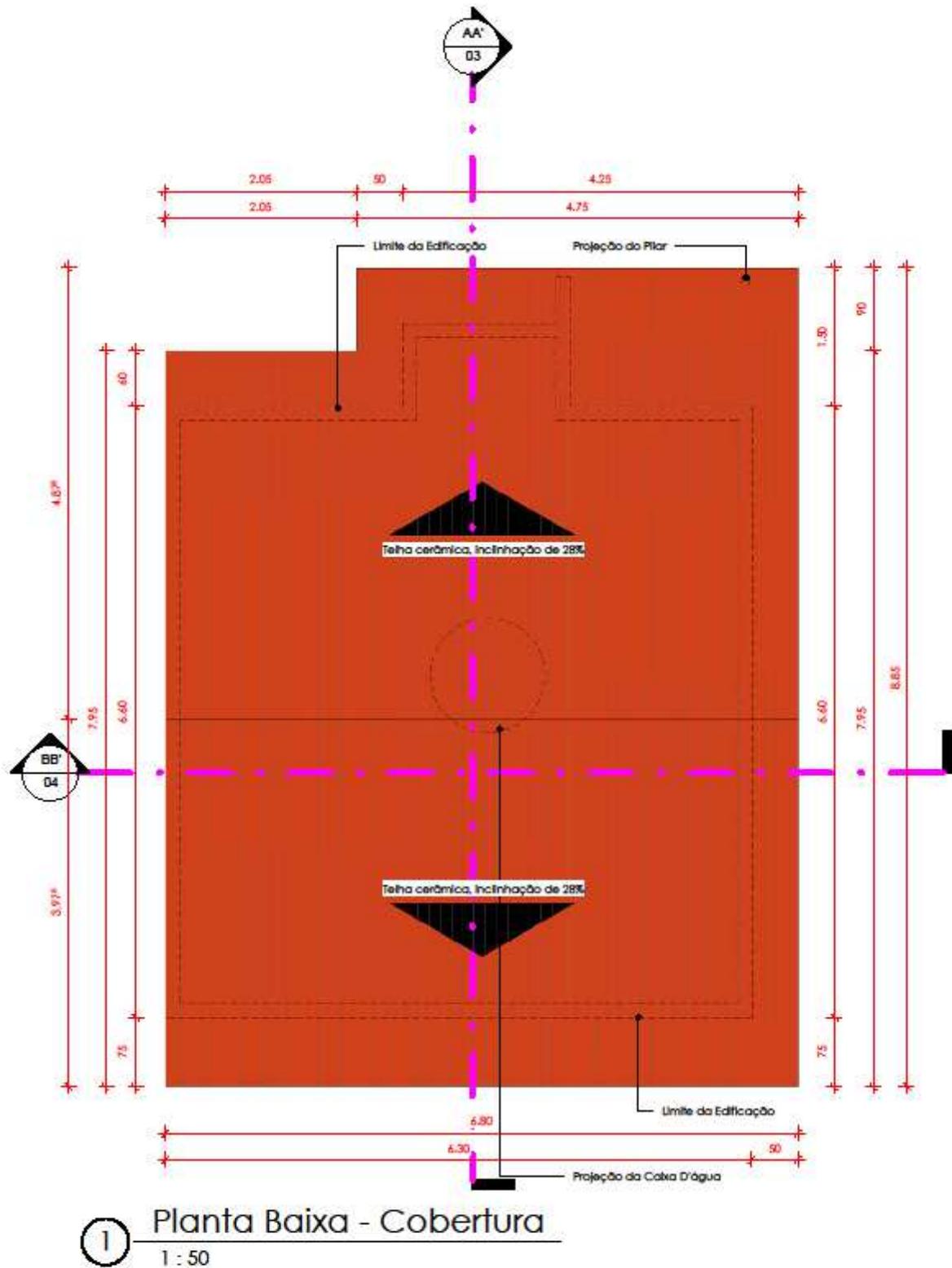
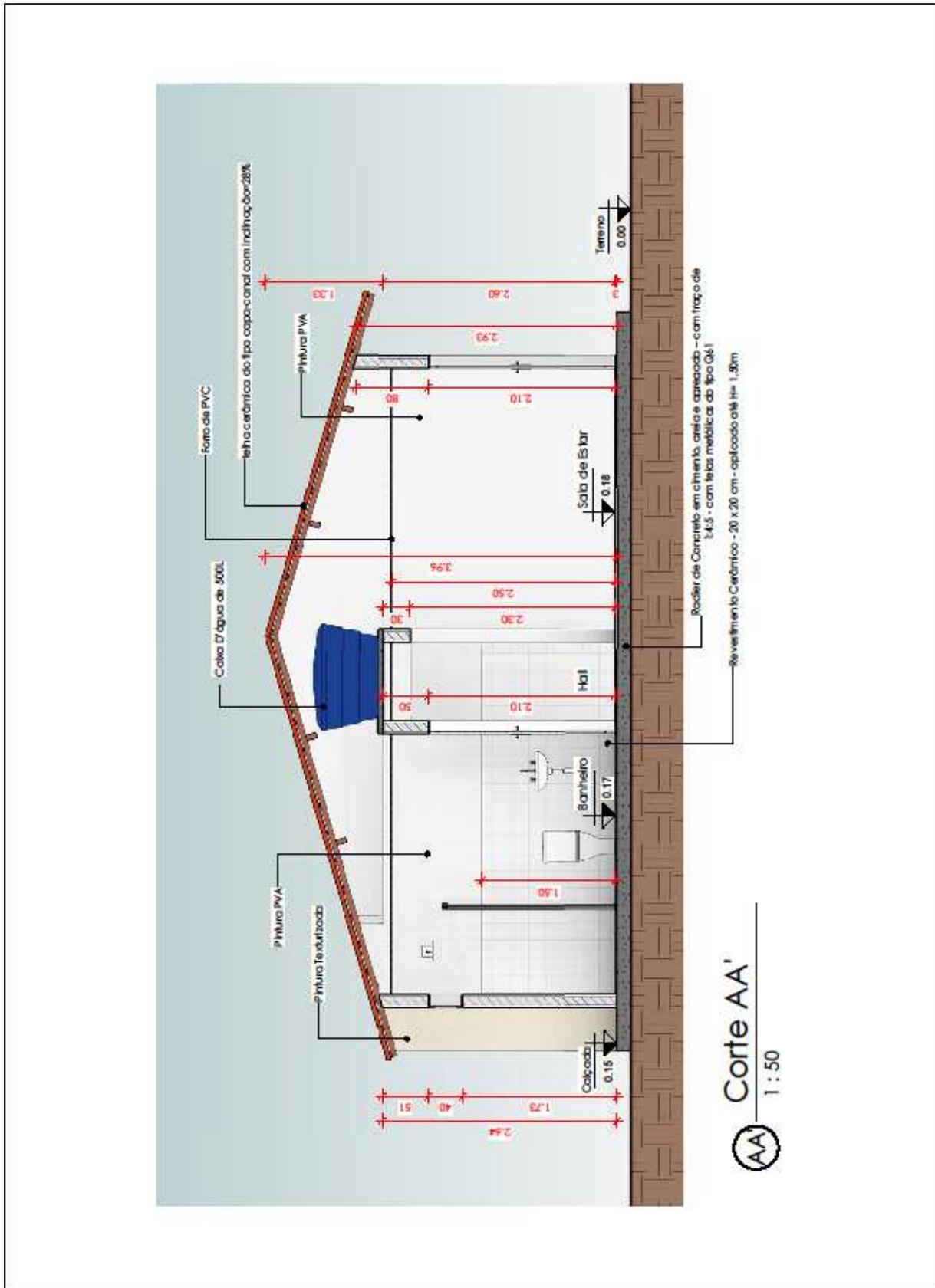


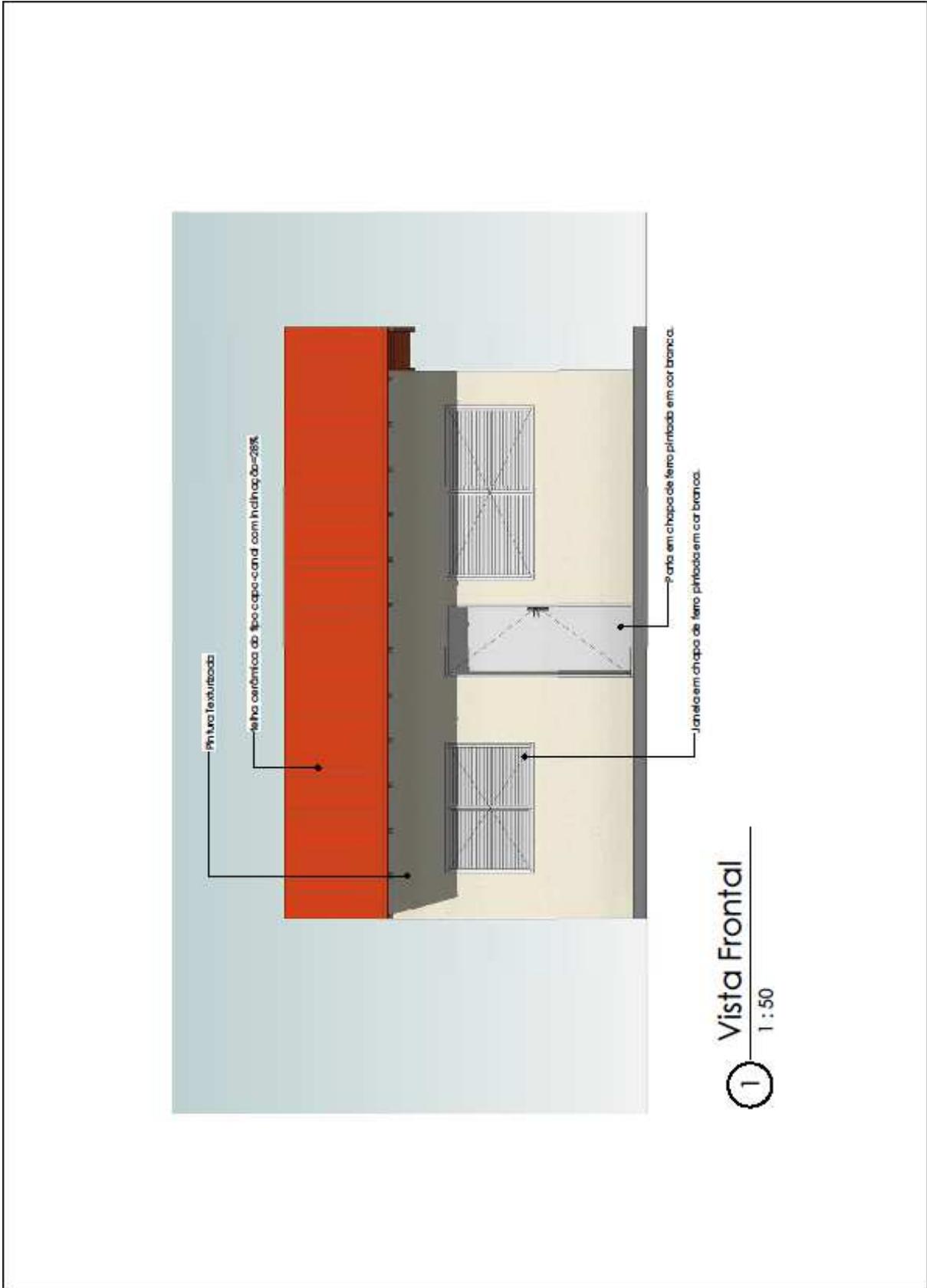
Figura 20 – Ilustração do Corte Longitudinal



Fonte: Builders Construções (2013).

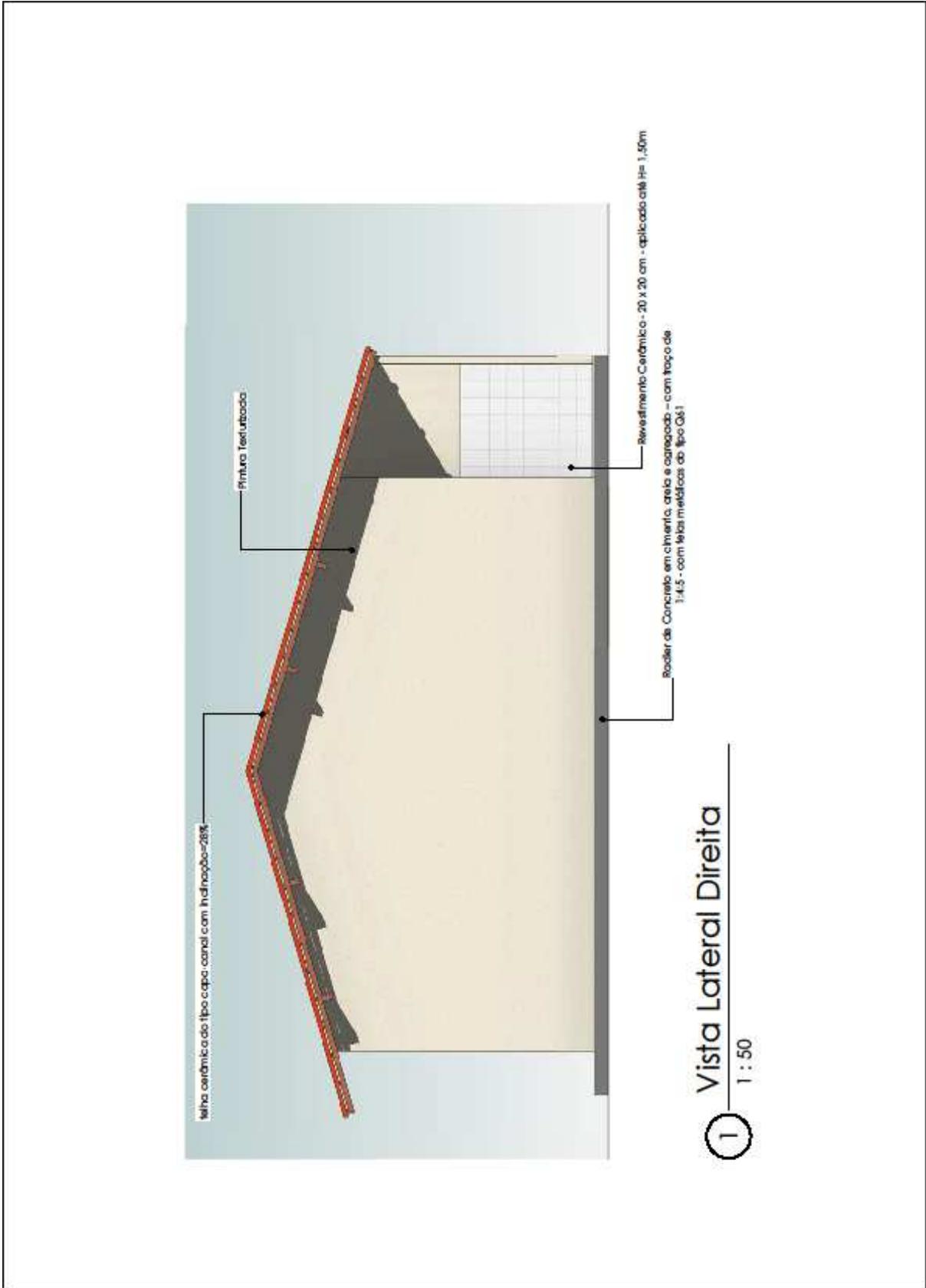


Figura 22 – Ilustração da Fachada Sul



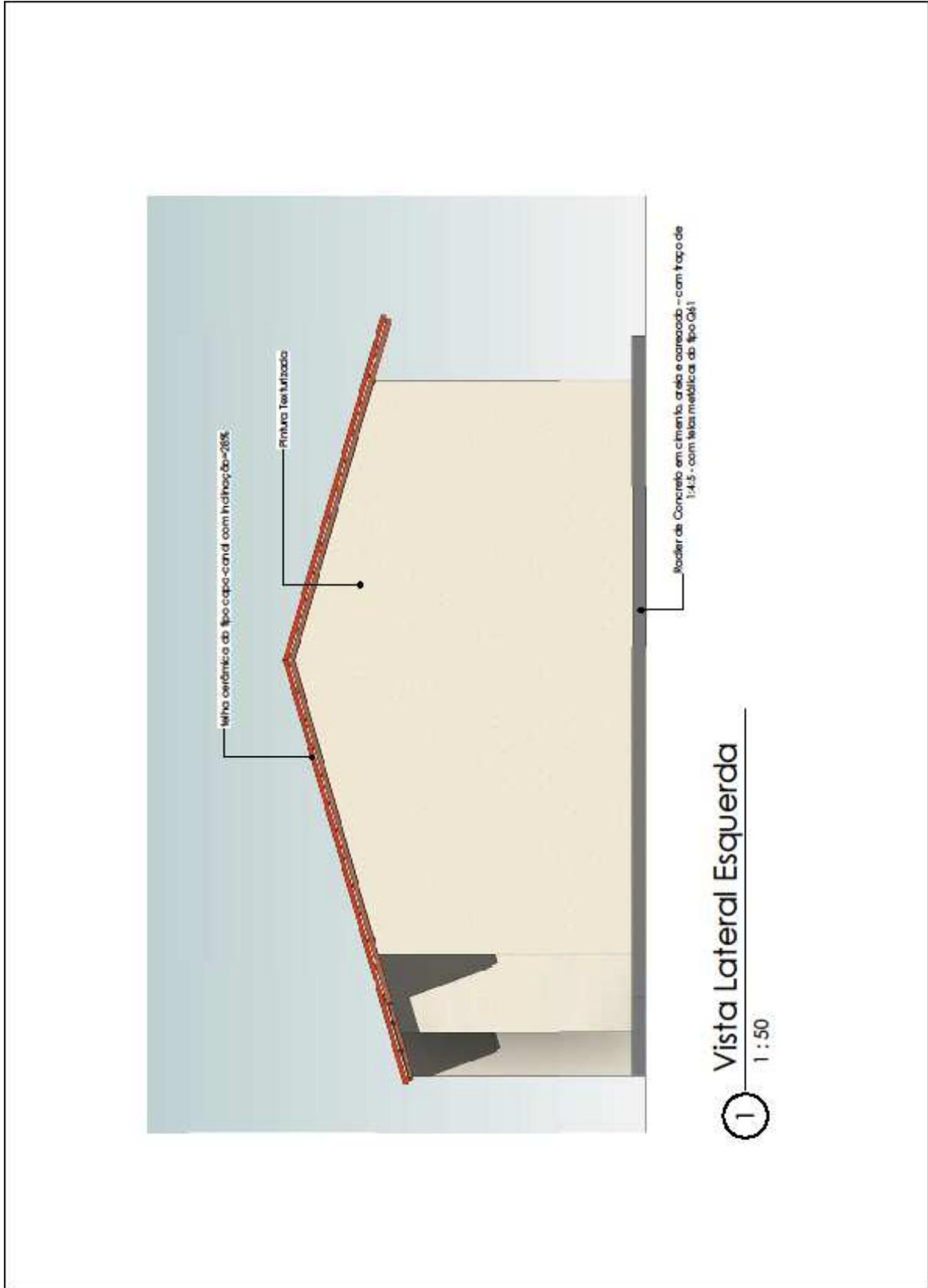
Fonte: Builders Construções (2013).

Figura 23 – Ilustração da Fachada Leste



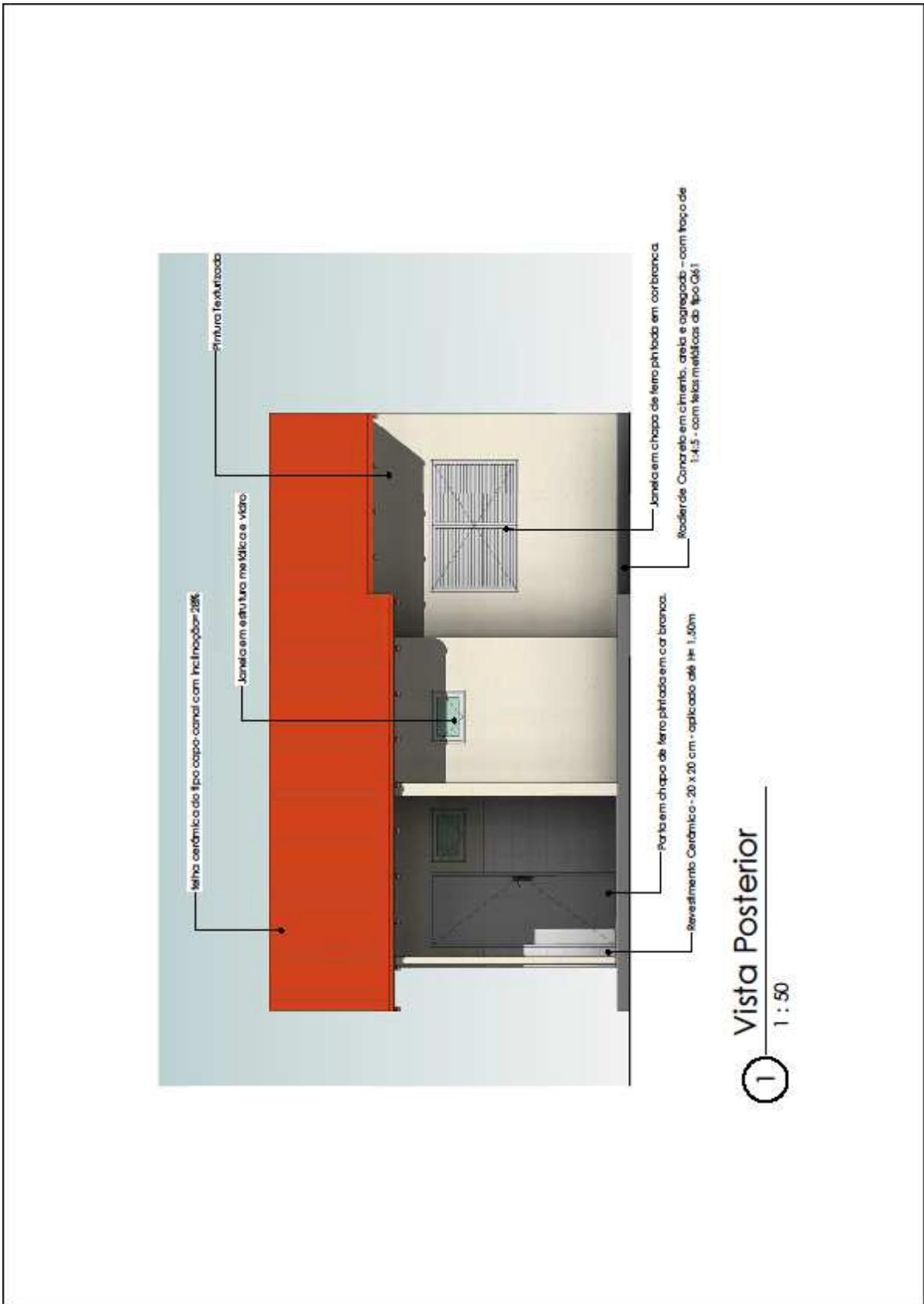
Fonte: Builders Construções (2013).

Figura 24 – Ilustração da Fachada Oeste



Fonte: Builders Construções (2013).

Figura 25 – Ilustração da Fachada Norte



Fonte: Builders Construções (2013).

### 3.1.2 Informações detalhadas do projeto

Para a melhor análise de desempenho térmico para este projeto, foram identificados os seguintes materiais de aplicação de toda a edificação, como também os seus parâmetros térmicos, conforme Quadro 17.

Quadro 17 – Identificação dos componentes construtivos e suas propriedades de absorptância ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações

Elementos do Projeto		Material	Absortância ( $\alpha$ )	Emissividade
Revestimentos	Interno	✓ Pintura PVA na cor branca ✓ Revestimento Cerâmico	0,20	0,90
	Externo	✓ Pintura Texturizada na cor Amarela ✓ Revestimento Cerâmico	0,30 / 0,20	0,90
Forro	Interno	✓ PVC	0,20	0,90
Piso	Interno	✓ Piso Cerâmico Branco, PEI 4	0,20	0,90
Cobertura	Externo	✓ Madeiramento Para Telha Cerâmica ✓ Telha Cerâmica de Barro	0,75/0,80	0,85/0,95
Esquadrias	Interno	✓ Portas internas semi-ocais na cor branca	0,20	0,90
	Externo	✓ Portas e Janelas externas em chapa metálica ✓ Basculante em ferro e vidro	0,25	0,25 / 0,84

Fonte: Arquivo do autor (2017), com base na NBR 15.220-2.

Os dados identificados demonstram que os materiais aplicados neste projeto, apresentam baixa emissividade e alta absorptância à radiação.

As informações dos materiais das paredes e coberturas são necessárias para a verificação dos índices de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico, conforme as exigências das NBR 15.575-1 (ABNT, 2013). Contudo, o

Quadro 18 tem por finalidade a observação dos valores de condutividade térmica, densidade e calor específico das envoltórias dos elementos de vedação externa.

Quadro 18 – Identificação dos materiais construtivos e suas propriedades de densidade ( $\rho$ ), condutividade ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ )

Material	Densidade	Condutividade	Calor Específico
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
Tijolo Cerâmico de 6 Furos	1600	0,90	0,92
Argamassa de reboco	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,15	1,00
Telha de barro	2000	1,05	0,92
Madeira de dureza média	600	0,14	2,30
Chapa metálica de Ferro	7800	55,00	0,46
Forro PVC	1200	0,30	-
Vidro comum	2500	1,00	0,84
Acabamento de Pintura	1400	0,035	-
Revestimento/Piso Cerâmico	1700	0,55	0,85
Madeira de compensado	550	0,15	2,30

Fonte: Arquivo do autor (2017), com base na NBR 15.220-2.

A adequação dos parâmetros construtivos dentro do modelo BIM criará um banco de dados compostos pelos elementos construtivos e seus respectivos índices térmicos, responsáveis pelas etapas de verificação e simulação térmica das envoltórias externas (paredes e cobertura).

### 3.1.3 Caracterização do zoneamento bioclimático

Para o estudo comparativo dos resultados, o trabalho apresentará, o projeto que estará inserido em dois zoneamentos bioclimáticos distintos, com o propósito de aferir as análises térmicas dos elementos construtivos em dois locais com características climáticas diferentes.

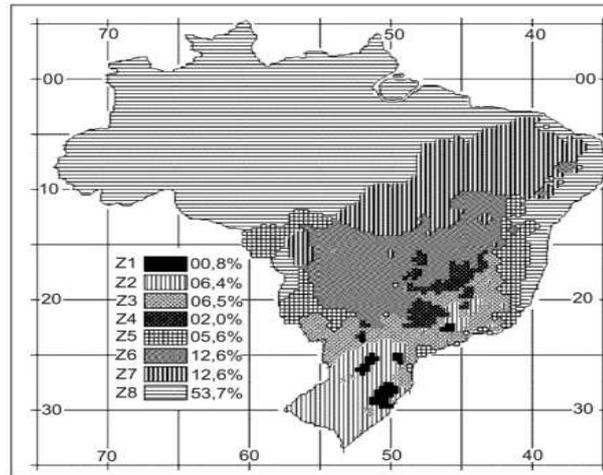
Quadro 19 – Identificação do Zoneamento Bioclimático do Projeto

Tipologia do Projeto	Zoneamento Bioclimático
Habitação de Interesse Social - Térrea	Zonas 3 e 8
As informações referentes ao zoneamento bioclimático estão presentes na NBR 15.220-3 (ABNT, 2003)	

Fonte: Arquivo do autor (2017).

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), preconiza que a caracterização da zona bioclimática está relacionada à localização do projeto e devem seguir as recomendações da NBR 15.220-3 (ABNT, 2003), na qual especifica que os parâmetros de adequação são vigentes para edificações de interesse social de até 3 pavimentos.

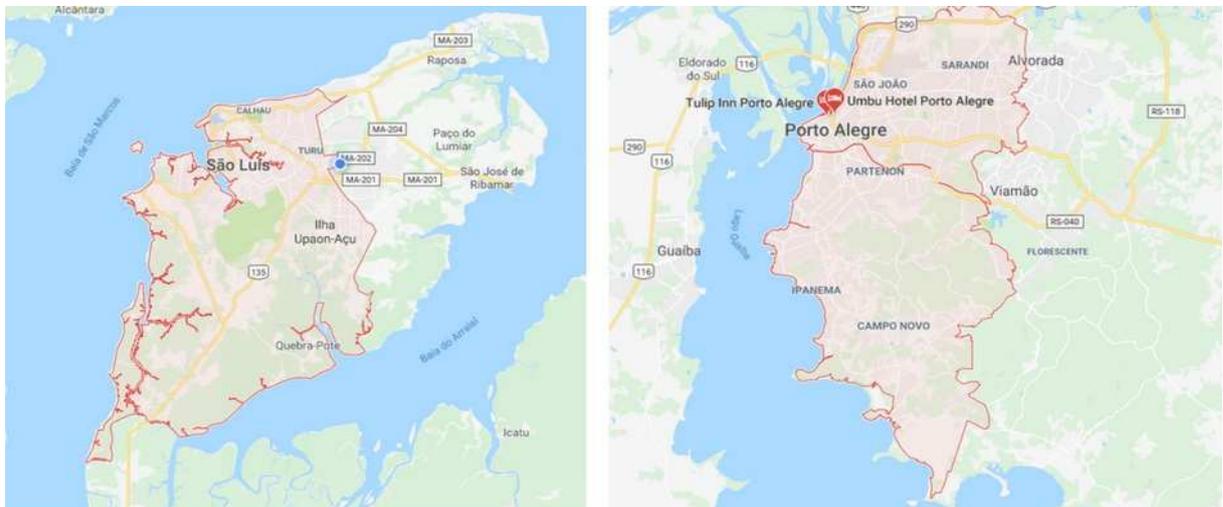
Figura 26 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2003).

A cidade de São Luís – MA, situada a uma Latitude: 02° 31' 47" S e Longitude: 44° 18' 10" W, região nordeste do Brasil, será a base para a implantação do estudo na zona bioclimática 8. A cidade de Porto Alegre – RS, situada à uma Latitude: 30° 01' 59" S e Longitude: 51° 13' 48" W, região sul do Brasil, será a base para a implantação das avaliações na zona bioclimática 3 (Figura 27).

Figura 27 – Localização das cidades de São Luís – MA e Porto Alegre – RS



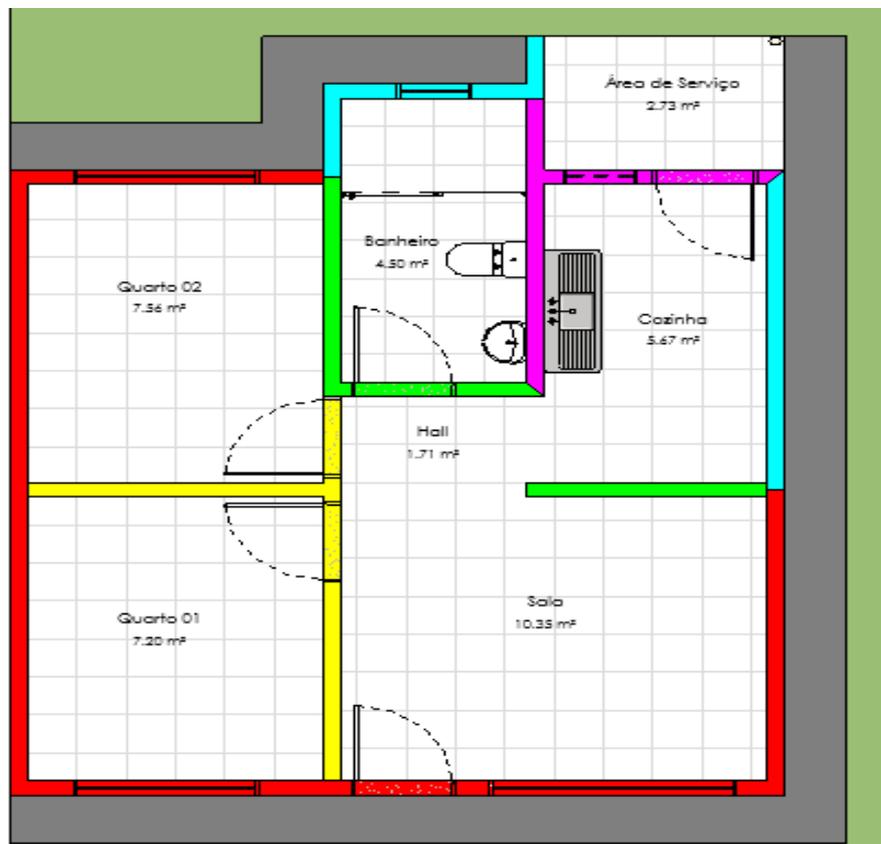
Fonte: Google Maps (2017).

### 3.1.4 Parametrização dos sistemas de vedação vertical externa/interna e da cobertura na interface BIM

Foi utilizado o Autodesk® Revit 2018 (versão estudantil), como interface BIM para adequar as propriedades térmicas dos materiais, preconizados na norma NBR 15.220-1 (ABNT, 2003), associados às características dos elementos construtivos.

Para a adequada inserção dos parâmetros de projeto, é necessário que cada uma das paredes e a cobertura, definidas na fase de modelagem da edificação sejam identificadas separadamente, para que o sistema de tabelas do Autodesk® Revit interprete cada elemento independentemente, tendo, assim, a oportunidade de configuração e gerenciamento das análises de modo separado, elemento por elemento. Cria-se então, o método de categorização da identidade das paredes e da cobertura, na interface de propriedades do Autodesk® Revit, em que o usuário possa facilmente identificar e associar os materiais de aplicação a cada um dos invólucros externos (Figura 28).

Figura 28 – Identificação dos SVVEI do projeto



Fonte: Arquivo do autor (2017).

O Quadro 20 complementa a leitura da Figura 28 e, torna-se relevante para a identificação de cada um dos elementos de vedação vertical do projeto. Não há necessidade de categorização da cobertura por se tratar de um elemento único aplicado em toda a edificação.

Quadro 20 – Identificação dos Tipos Vedações Verticais

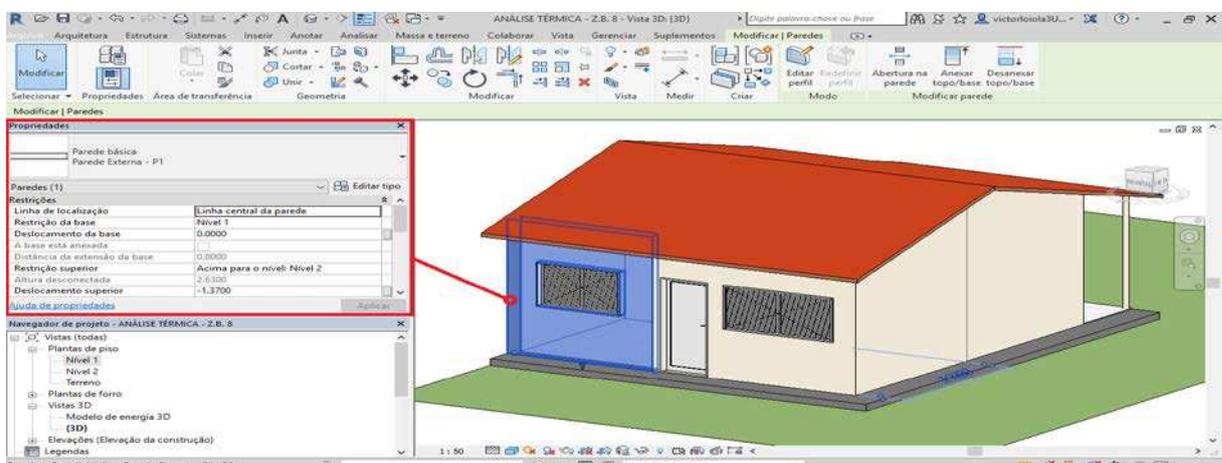
Tipo de Parede	Cor de Identificação	Acabamentos
Parede Externa – P1	Vermelho	Pintura Externa/Pintura Interna
Parede Interna – P2	Amarelo	Pintura Interna/Pintura Interna
Parede Interna – P3	Verde	Revest. Cerâmico/Pintura Interna
Parede Externa – P4	Ciano	Revest. Cerâmico/Pintura Externa
Parede Externa – P5	Magenta	Revest. Cerâmico/ Revest. Cerâmico
Parede Interna – P6	Magenta	Revest. Cerâmico/ Revest. Cerâmico

Fonte: Arquivo do autor (2017).

A variação dos tipos de paredes ao longo do projeto, define tipos de acabamentos variados em suas superfícies, que contêm especificações térmicas distintas e que podem influenciar diretamente, no desempenho térmico dos ambientes.

A interface de propriedades do Autodesk® Revit, permite configurar seus objetos de forma detalhada, compondo camadas estruturais, que facilitem o envelopamento total dos componentes de vedação externa. Contudo, é necessário editar cada tipo de parede, adequando os parâmetros da norma NBR 15.220-2 (ABNT, 2003), em cada camada definida para o material de composição de sua estrutura.

Figura 29 – Identificação da interface de propriedades dos componentes construtivos

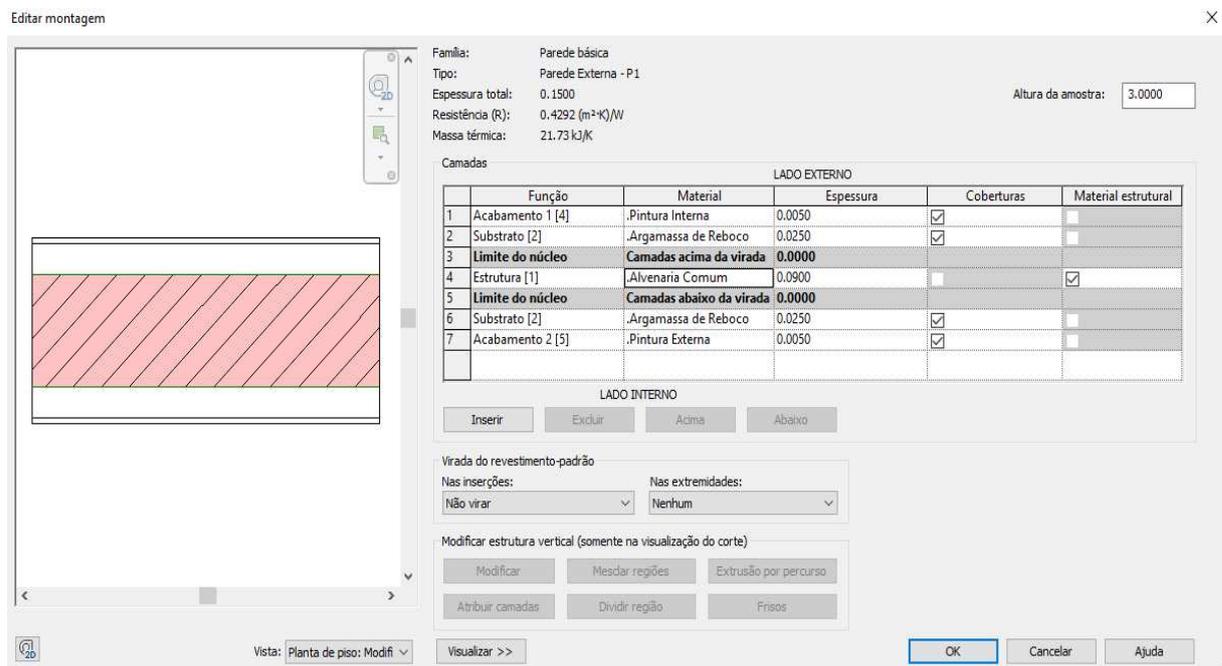


Fonte: Arquivo do autor (2017).

De acordo com as informações do projeto listadas no Quadro 18, cria-se a estruturação de cada vedação vertical, assim como também da cobertura, aferindo novas camadas que irão satisfazer as especificações do projeto, vinculando a simulação em interface BIM, com a realidade desenvolvida pela construtora.

É importante ressaltar que, no envelopamento (criação das camadas estruturais dos componentes construtivos), deve-se aplicar os valores reais das espessuras de cada camada (Figura 30), sabendo-se que esta parametrização, influirá no desempenho térmico final de toda a edificação.

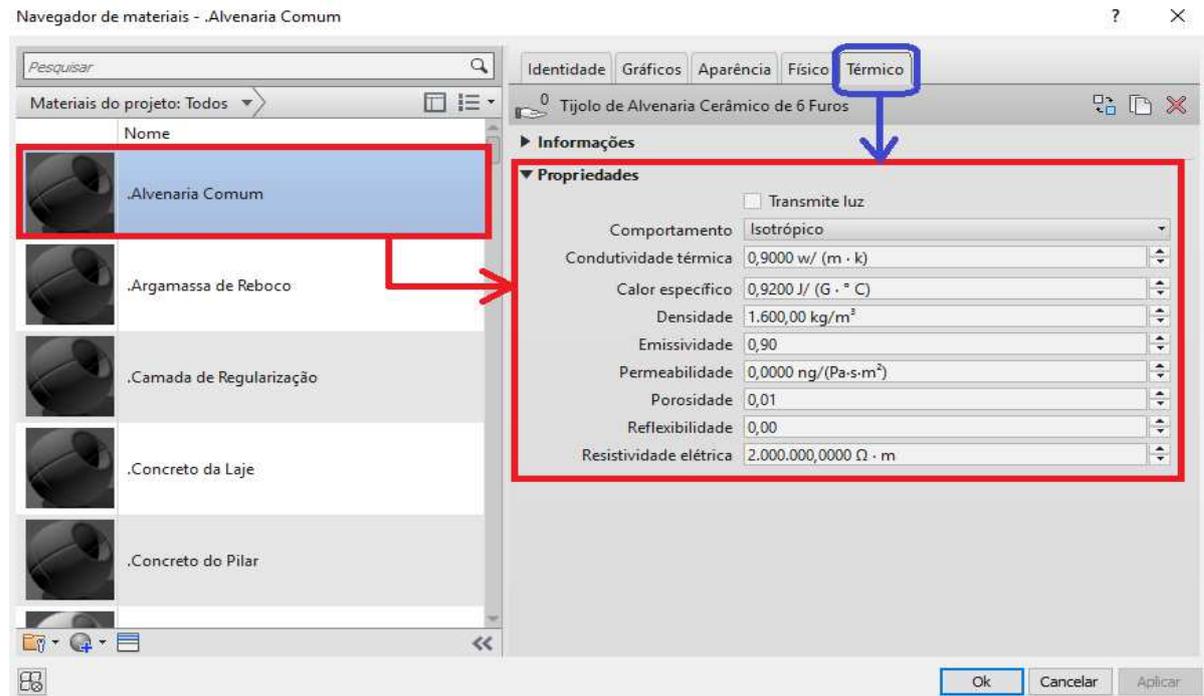
Figura 30 – Montagem das características do projeto no Autodesk® Revit



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Após a criação das camadas de envelopamento de cada sistema de vedação vertical externa/interna e cobertura, deve-se definir as propriedades térmicas e físicas dos materiais, que serão inseridos em cada camada (Figura 31).

Figura 31 – Configuração das propriedades térmicas dos materiais



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Todos os materiais do projeto precisam estar diante das conformidades especificadas no Quadro 18, inserindo os valores de densidade ( $\rho$ ), condutividade ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ). Tratando-se de uma ferramenta BIM, na qual todos os objetos configurados manterão uma série de especificações definidas pelo projetista, o Autodesk® Revit, desempenha os cálculos de transmitância, resistência térmica e de massa térmica especificados pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2003), além do mais, seus valores podem ser conferidos facilmente, em cada um dos sistemas de vedação vertical, estruturas de forração, piso e de cobertura. Este trabalho torna-se imprescindível para a montagem de um arquivo *template*<sup>4</sup>, que favorecerá futuros estudos que possam determinar o desempenho térmico dos componentes construtivos da edificação.

<sup>4</sup> *Template* é um modelo de arquivo que armazena os dados configurados em trabalhos passados, possibilitando a reutilização destes parâmetros já padronizados.

Figura 32 – Apresentação dos parâmetros térmicos dos invólucros externos

Propriedades de tipo ×

Família: Família do sistema: Parede básica Carregar...

Tipo: Parede Externa - P1 Duplicar...

Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor	=	^
<b>Construção</b>			
Estrutura	Editar...		
Virar nas inserções	Não virar		
Virar nas extremidades	Nenhum		
Largura	0.1500		
Função	Exterior		
<b>Gráficos</b>			
Padrão de preenchimento em escala de baixa resolução			
Preenchimento de cor de escala de baixa resolução	■ Preto		
<b>Texto</b>			
Capacidade Térmica	213,88 KJ/(m <sup>2</sup> .K)		
<b>Materiais e acabamentos</b>			
Material estrutural	Alvenaria Comum		
<b>Propriedades analíticas</b>			
Coefficiente de transferência de calor (U)	2.3300 W/(m <sup>2</sup> .K)		
Resistência térmica (R)	0.4292 (m <sup>2</sup> .K)/W		
Massa térmica	21.73 kJ/K		
Absorção	0.300000		
Rugosidade	3		
<b>Dados de identidade</b>			
Tipo de imagem			

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Diante do exposto, criou-se dois tipos de arquivos *templates*, contendo as informações necessárias para as zonas bioclimáticas 3 e 8, em questão. O Autodesk® Revit elabora tabelas que favorecem o acompanhamento imediato das características peculiares de qualquer projeto. Os quadros foram montados para gerir o desempenho das paredes e coberturas da edificação de interesse social, programadas para mostrarem em verde, aqueles componentes que atingiram o nível de desempenho mínimo (M) de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), assim como pode mostrar em vermelho os elementos, que não estão de acordo com as exigências da norma, sendo assim, todas as zonas da edificação necessitando passar por uma simulação térmica computacional interna.

### 3.1.5 Resultados obtidos no método de avaliação simplificado, para as paredes e cobertura da zona bioclimática 8

Como se pode comprovar na Figura 33, para a zona bioclimática 8, as paredes P1, P2, P3 e P4, obtiveram um nível de desempenho mínimo, que é definido pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), de acordo com os Quadros 11 e 12 do presente trabalho, no qual estipula valores máximos admissíveis, para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes. As paredes P5 e P6 foram reprovadas apresentando valores de transmitância térmica excedentes, em relação aos recomendados pela norma, neste caso, conduzindo o trabalho para o estudo de avaliação computacional.

Figura 33 – Resultados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedação vertical para a zona bioclimática 8

<b>&lt;Classificação das Paredes - Zona Bioclimática 8&gt;</b>				
A	B	C	D	E
Tipo	Absortância ( $\alpha$ )	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)	Nível de Desempenho
Parede Externa - P1	0.3	2.3300 W/(m <sup>2</sup> .K)	213,88 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Externa - P4	0.3	3.3849 W/(m <sup>2</sup> .K)	220,40 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Externa - P5	0.3	6.1858 W/(m <sup>2</sup> .K)	226,92 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Requer Avaliação Computacional
Parede Interna - P2	0.2	2.3300 W/(m <sup>2</sup> .K)	213,88 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Interna - P3	0.2	3.3849 W/(m <sup>2</sup> .K)	220,40 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Interna - P6	0.3	6.1858 W/(m <sup>2</sup> .K)	226,92 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Requer Avaliação Computacional

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Como se pode comprovar na Figura 34, para a zona bioclimática 8, a cobertura obteve um desempenho insatisfatório diante dos parâmetros expostos no Quadro 13 do presente trabalho, que faz menção às exigências da norma NBR 15.575-5 (ABNT, 2013) para os valores máximos admissíveis, contudo, uma avaliação computacional é necessária para averiguar as temperaturas internas de cada zona térmica da edificação.

Figura 34 – Resultado de transmitância térmica (U) do sistema de cobertura para a zona bioclimática 8

<b>&lt;Classificação da Cobertura - Zona Bioclimática 8&gt;</b>			
A	B	C	D
Tipo	Absortância ( $\alpha$ )	Transmitância Térmica (U)	Nível de Desempenho
Cobertura	0.75	1.9626 W/(m <sup>2</sup> .K)	Requer Avaliação Computacional

Fonte: Arquivo do autor (2017).

### 3.1.6 Resultados obtidos no método de avaliação simplificado, para as paredes e cobertura da zona bioclimática 3

Como se pode comprovar na Figura 35, para a zona bioclimática 3, os resultados demonstrados mantêm-se semelhantes aos da zona bioclimática 8, na qual as paredes P1, P2, P3 e P4, obtiveram um nível de desempenho mínimo, que é definido pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), de acordo com os Quadros 11 e 12 do presente trabalho, no qual estipula valores máximos admissíveis para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes. As paredes P5 e P6 obtiveram valores de transmitância térmica excedentes, em relação aos preconizados na norma para essa zona bioclimática, neste caso, conduzindo o trabalho para uma avaliação computacional.

Figura 35 – Resultados de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos sistemas de vedação vertical para a zona bioclimática 3

<b>&lt;Classificação das Paredes - Zona Bioclimática 3&gt;</b>				
A	B	C	D	E
Tipo	Absortância ( $\alpha$ )	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)	Nível de Desempenho
Parede Externa - P1	0.3	2.3300 W/(m <sup>2</sup> .K)	213,88 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Externa - P4	0.3	3.3849 W/(m <sup>2</sup> .K)	220,40 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Externa - P5	0.3	6.1858 W/(m <sup>2</sup> .K)	226,92 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Requer Avaliação Computacional
Parede Interna - P2	0.2	2.3300 W/(m <sup>2</sup> .K)	213,88 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Interna - P3	0.2	3.3849 W/(m <sup>2</sup> .K)	220,40 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	M - Desempenho Mínimo
Parede Interna - P6	0.3	6.1858 W/(m <sup>2</sup> .K)	226,92 KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Requer Avaliação Computacional

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Como se pode verificar na Figura 36, para a zona bioclimática 3, a cobertura obteve um desempenho insatisfatório diante dos parâmetros expostos no Quadro 13 do presente trabalho, que faz menção às exigências da norma NBR 15.575-5 (ABNT, 2013) para os valores máximos admissíveis, contudo, uma avaliação computacional é necessária para averiguar as temperaturas internas de cada zona térmica da edificação.

Figura 36 – Resultado de transmitância térmica (U) do sistema de cobertura para a zona bioclimática 3

<b>&lt;Classificação da Cobertura - Zona Bioclimática 3&gt;</b>			
A	B	C	D
Tipo	Absortância ( $\alpha$ )	Transmitância Térmica (U)	Nível de Desempenho
Cobertura	0.75	1.9626 W/(m <sup>2</sup> ·K)	Requer Avaliação Computacional

Fonte: Arquivo do autor (2017).

### 3.1.7 Aferição das simulações computacionais para análises de desempenho térmico

Para a obtenção dos resultados desejados foram utilizados três *softwares*, que complementam o trabalho de análises térmicas já desenvolvidas até então pelo Autodesk® Revit 2018 (versão estudantil), denominados por Trimble® SketchUp 2017 (versão estudantil), EnergyPlus v. 8.8.0 e OpenStudio versão 2.3.0 (versão cedida pelo *United States Department of Energy* ou DOE).

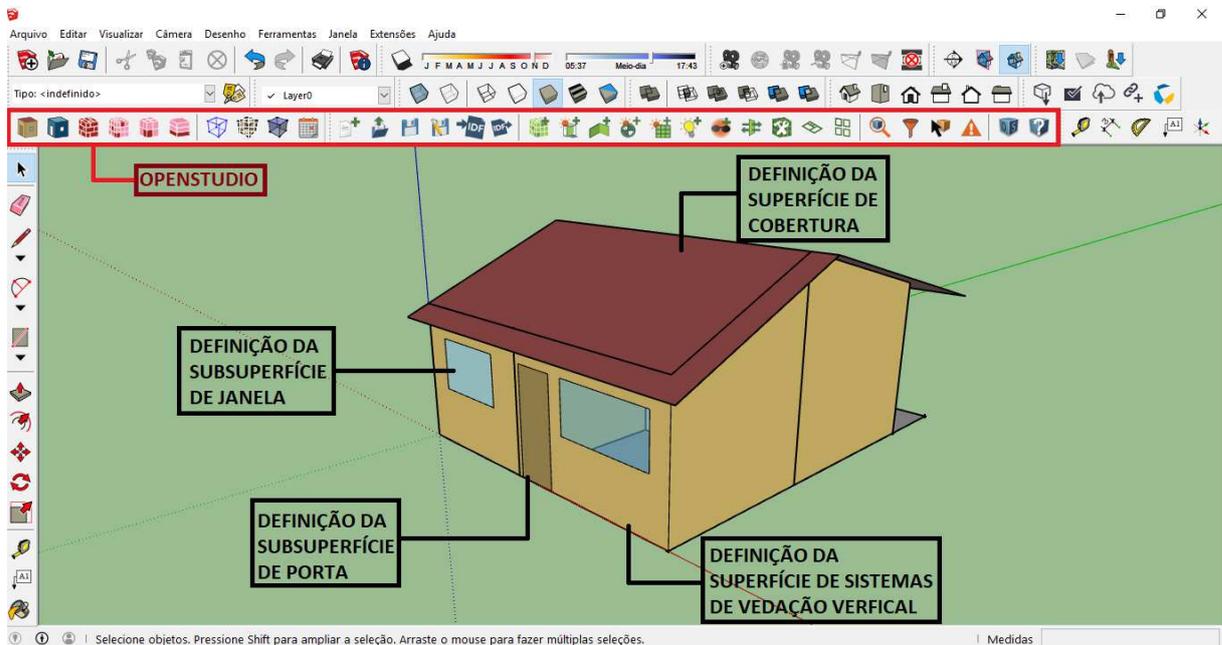
As três ferramentas criam uma interação dinâmica entre si, na qual o modelo tridimensional da edificação de interesse social em estudo é construído no SketchUp, logo adiante sendo inspecionado e tendo todas as suas superfícies e zonas internas gerenciadas pelo OpenStudio. Esta segunda etapa é necessária para configurar a localização, os dados climáticos da zona bioclimática, os materiais construtivos e suas características térmicas, assim como permite também a identificação das zonas térmicas internas e seus respectivos elementos construtivos. Para a última etapa, é transformado em arquivo *IDF* (referência de entrada para o EnergyPlus), todas as características internas e externas da edificação, no qual será utilizado como elemento motriz no aplicativo de simulação de desempenho térmico denominado EnergyPlus.

#### 3.1.7.1 A modelagem da edificação no Trimble® SketchUp

Foi elaborado dentro do SketchUp, a volumetria final do projeto de habitação de interesse social, utilizando as principais ferramentas de modelagem do programa. De acordo com a Figura 37, são originados os espaços e definidos automaticamente, cada superfície e subsuperfície, através do *plugin* operacional da ferramenta OpenStudio, que se aloja dentro da interface principal do SketchUp. O

aplicativo determina através de renderizações as principais características da edificação, que serão levadas em conta no desenvolvimento da simulação térmica.

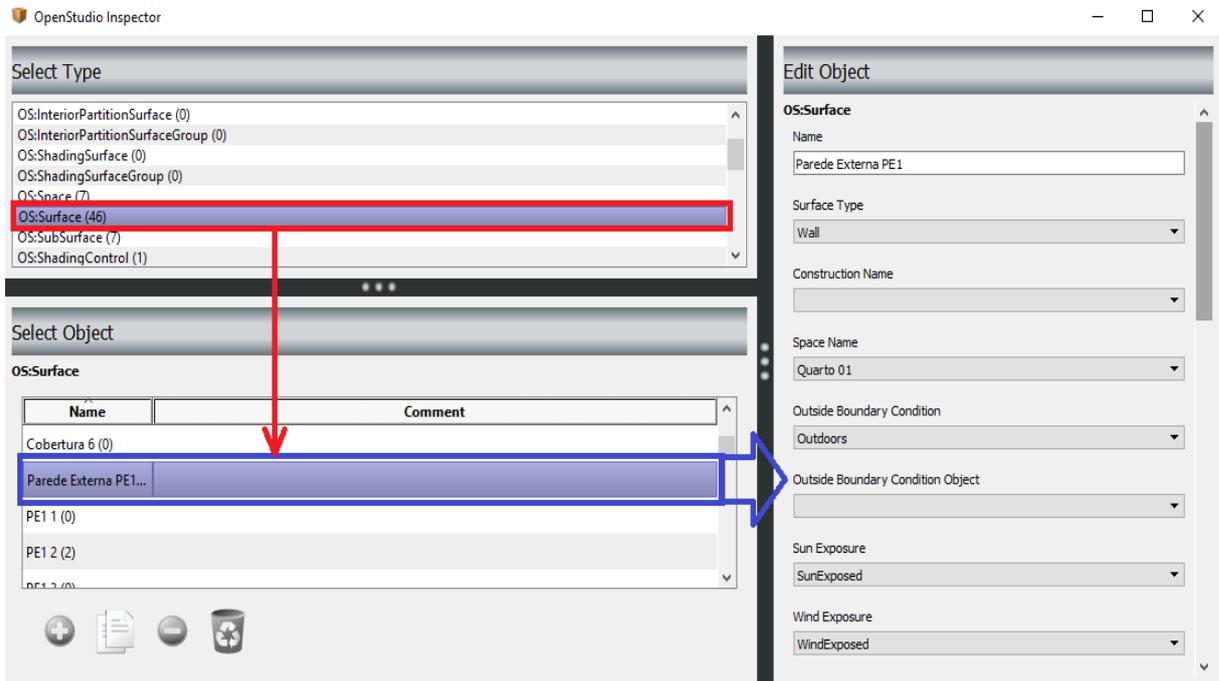
Figura 37 – Modelagem das superfícies e subsuperfícies no SketchUp



Fonte: Arquivo do autor (2017).

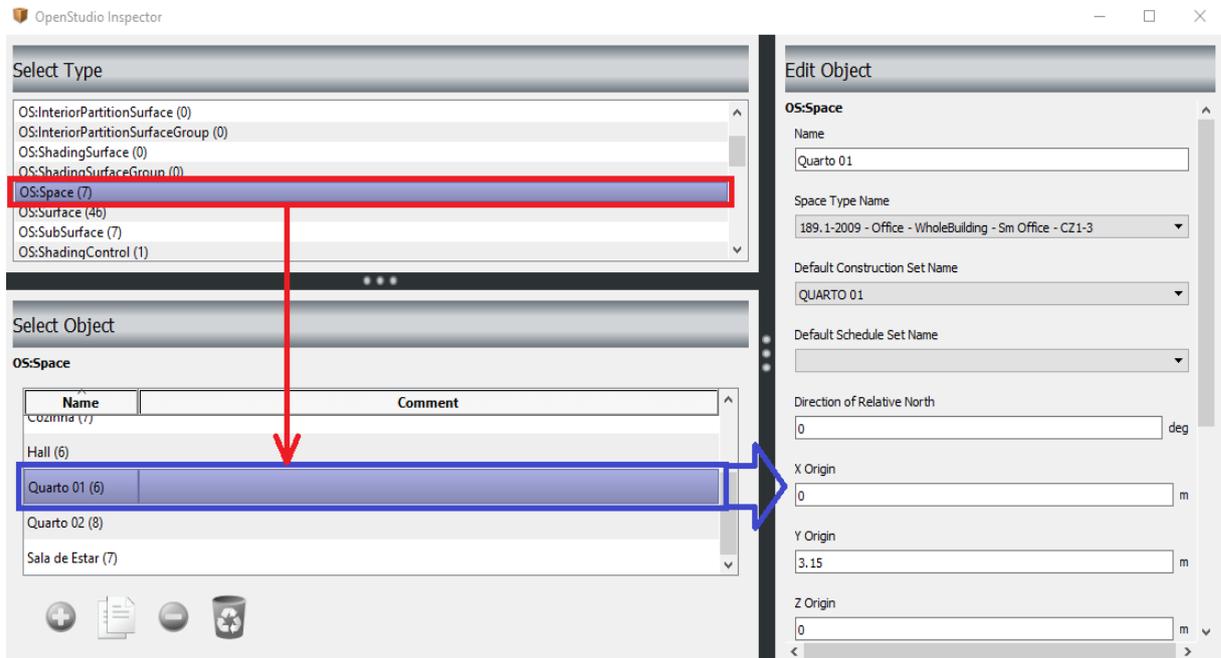
Toda a volumetria e suas zonas térmicas definidas pelo OpenStudio devem ser inspecionadas utilizando o *plugin* do aplicativo presente no SketchUp. A Figura 38 apresentam parâmetros inseridos para cada superfície (sistemas de vedação vertical interna/externa e coberturas) e subsuperfície (portas e janelas) a sua identificação e características de entorno, definidas como objetos, que estarão expostos às intempéries relativas ao desempenho térmico ou livres de qualquer ação natural externa. É válido ressaltar, a necessidade de adequação dos parâmetros das zonas térmicas (Figura 39), que estarão associadas à uma zona climática pré-configurada e adequada às recomendações da norma NBR 15.220-3 (ABNT 2003).

Figura 38 – Inspeção e adequação das superfícies e subsuperfícies da modelagem



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Figura 39 – Inspeção e adequação dos espaços e zonas térmicas da modelagem



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Após a padronização de toda a modelagem, a próxima etapa é configurar todos os principais parâmetros no OpenStudio.

### 3.1.7.2 Configuração dos parâmetros no OpenStudio

É importante ressaltar, a necessidade de diferir os arquivos de entrada do OpenStudio, criando *templates* individuais para as zonas bioclimáticas que serão trabalhadas. Os dados climáticos serão os principais recursos, para a diferenciação dos arquivos de entrada, em que cada um conterà as suas próprias características definidas como *Weather Data*, disponíveis para *download* no *site* do EnergyPlus (Figura 40). É necessário buscar os dados climáticos para as cidades de São Luís (zona bioclimática 8) e Porto Alegre (zona bioclimática 3), a serem introduzidos na interface principal do OpenStudio.

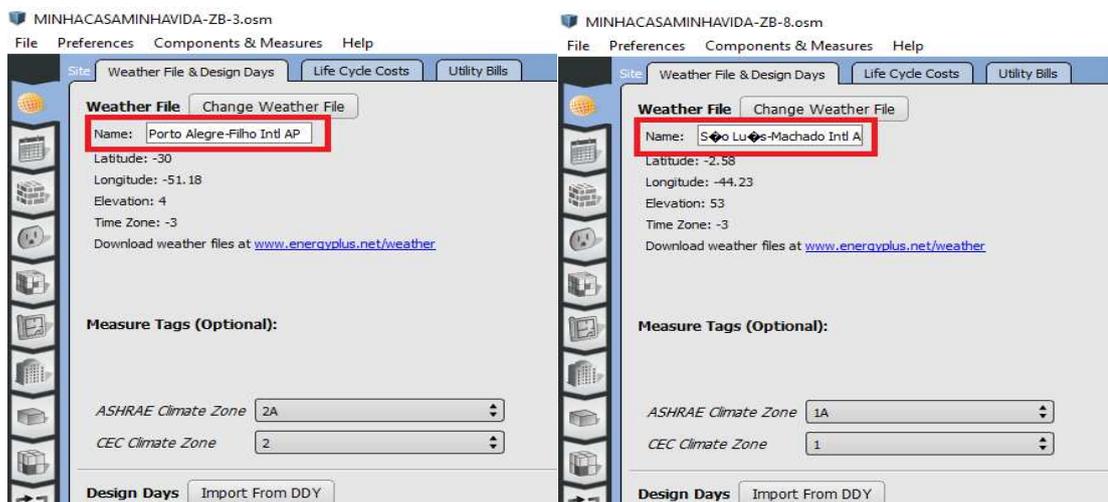
Figura 40 – Localização dos dados climáticos das principais cidades do mundo



Fonte: EnergyPlus (2017).

Em seguida, os dados devem ser carregados em cada *template* (Figura 41).

Figura 41 – Inserção dos dados climáticos de Porto Alegre e São Luís, nos arquivos

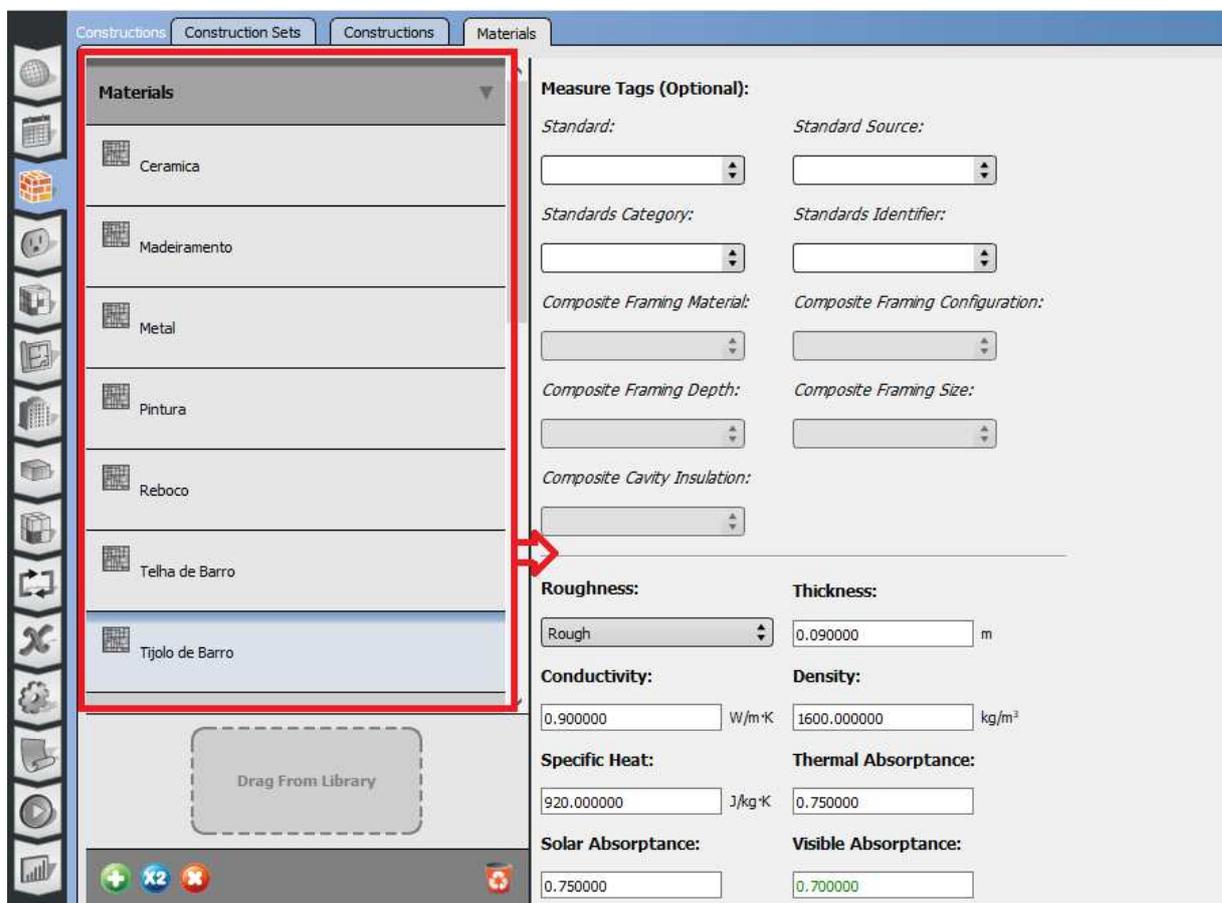


Fonte: Arquivo do autor (2017).

As informações dos arquivos de entrada para os dados climáticos de ambas as cidades, definem com precisão as características dos dias típicos de inverno e verão, identificando automaticamente, os dias mais quentes e os dias mais frios do ano, necessários para as simulações térmicas de acordo com a norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

O próximo passo é configurar os materiais e suas propriedades térmicas (Figura 42), definidas pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2003), apresentadas Quadros 18 e 19 do presente trabalho.

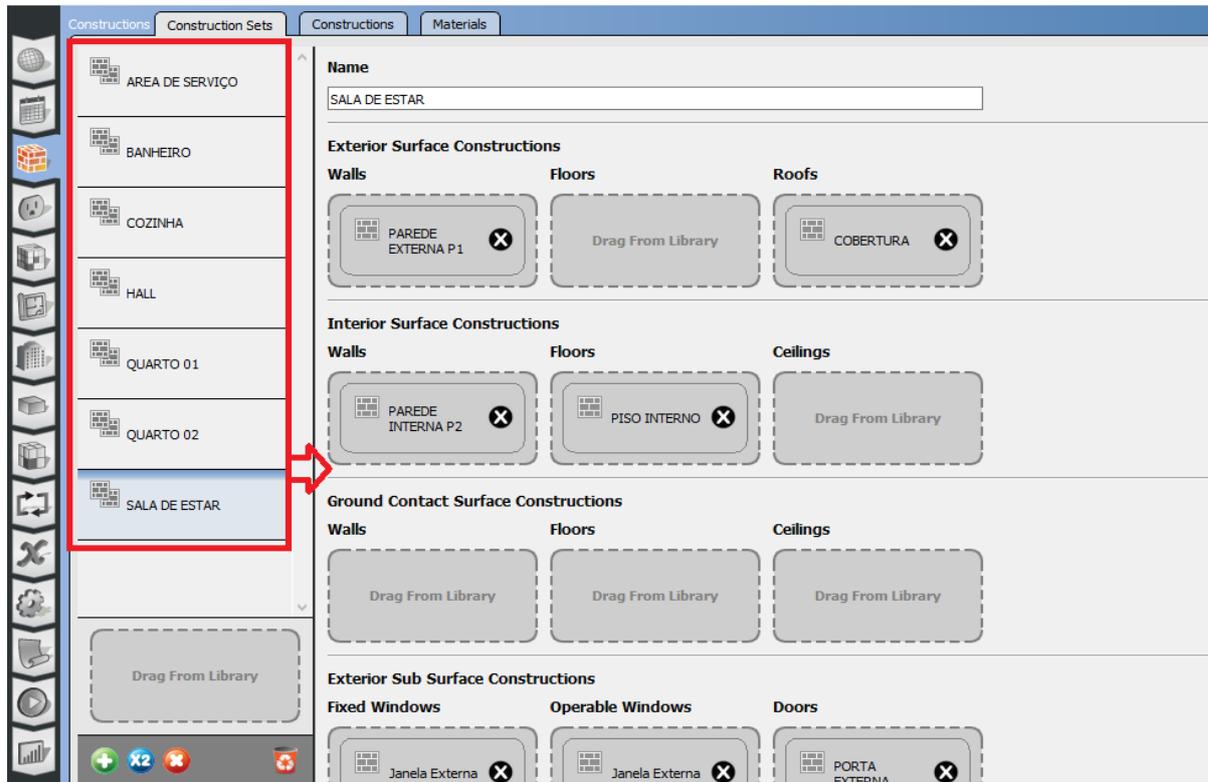
Figura 42 – Configuração das características térmicas dos materiais de construção



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Esses materiais devem ser inseridos em cada componente construtivo, que obrigatoriamente, terá que ser inserido nos conjuntos construtivos do arquivo modelo, para as simulações de desempenho térmico da edificação (Figura 43). Este modelo torna-se padrão para ambas as zonas climáticas.

Figura 43 – Configuração dos conjuntos construtivos da edificação



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Em seguida, deve-se verificar os espaços integrados na edificação, verificando se estão associadas as suas respectivas zonas térmicas e conjuntos construtivos (Figura 44), configurados anteriormente.

Figura 44 – Configuração dos espaços necessários para a simulação térmica

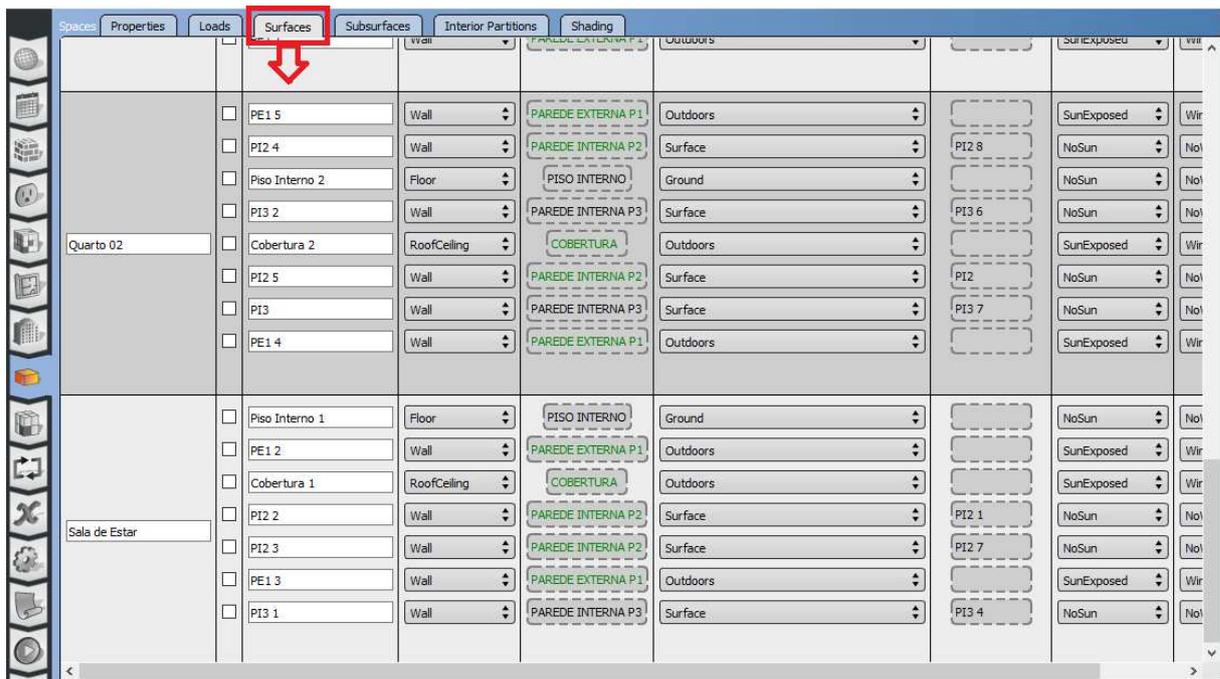
The screenshot shows a software interface for configuring spaces for thermal simulation. The interface includes filters for Story, Thermal Zone, and Space Type, and a table listing the configuration for various rooms. The table has columns for Space Name, All, Story, Thermal Zone, Space Type, Default Construction Set, Default Schedule Set, and Part of Total Floor Area.

Space Name	All	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
Area de Serviço	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Area de Serviço	189.1-2009 - Office - WholeB	ÁREA DE SERVIÇO		<input checked="" type="checkbox"/>
Banheiro	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Banheiro	189.1-2009 - Office - WholeB	BANHEIRO		<input checked="" type="checkbox"/>
Cozinha	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Cozinha	189.1-2009 - Office - WholeB	COZINHA		<input checked="" type="checkbox"/>
Hall	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Hall	189.1-2009 - Office - WholeB	HALL		<input checked="" type="checkbox"/>
Quarto 01	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Quarto 01	189.1-2009 - Office - WholeB	QUARTO 01		<input checked="" type="checkbox"/>
Quarto 02	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Quarto 02	189.1-2009 - Office - WholeB	QUARTO 02		<input checked="" type="checkbox"/>
Sala de Estar	<input type="checkbox"/>	Building Story 1	Sala de Estar	189.1-2009 - Office - WholeB	SALA DE ESTAR		<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Cada superfície e subsuperfície, necessita de avaliação detalhada, verificando se os seus parâmetros construtivos são os mesmos especificados em sua nomenclatura (Figura 45), associadas também ao seu espaço de inserção. Tais detalhes minuciosos influenciam diretamente, nos resultados obtidos pela simulação.

Figura 45 – Verificação dos parâmetros das superfícies para cada ambiente



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Após as principais configurações no OpenStudio, as próximas etapas estão diretamente, ligadas aos relatórios de saída, que devem ser gerados pela simulação, ou seja, deve-se determinar a identificação das variáveis térmicas das áreas externas e zonas internas da edificação.

Todas as configurações salvas nos arquivos *templates* desenvolvidos para as zonas bioclimáticas 3 e 8, devem ser transformadas em um arquivo IDF, como já mencionado, que será introduzido na motriz do EnergyPlus.

### 3.1.7.3 Avaliação do desempenho térmico nos dias típicos de verão

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), preconiza que o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou

igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. De acordo com os dados das duas cidades, os dias típicos de verão para as zonas bioclimáticas 3 e 8 foram encontrados e catalogados na Quadro 21.

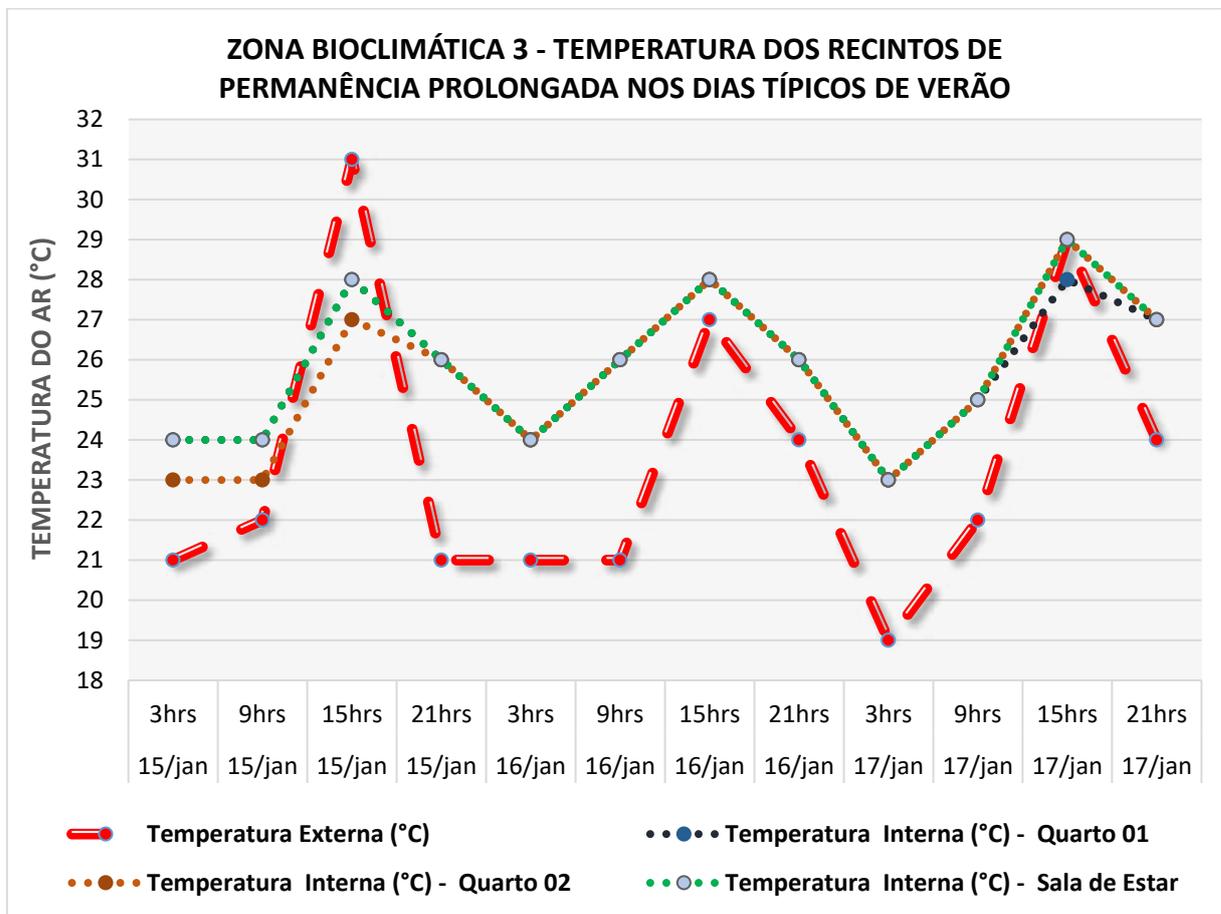
Quadro 21 – Dias típicos de verão para as zonas bioclimáticas 3 e 8

Zona Bioclimática	Cidades	Dias mais quentes do ano
8	São Luís	20, 21 e 22 de novembro
3	Porto Alegre	15, 16 e 17 de janeiro

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Para a zona bioclimática 3, especificamente, na cidade de Porto Alegre, efetua-se a simulação das zonas no EnergyPlus, para a obtenção dos dados referentes aos recintos de permanência prolongada, como mostra a Figura 46.

Figura 46 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de verão na ZB 3



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Ao analisar os dias típicos de verão para a zona bioclimática 3, verifica-se que nos dias 15/01/2017 e 17/01/2017, os resultados foram satisfatórios diante das exigências da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), na qual preconiza que as maiores temperaturas do dia para as zonas internas dos quartos e sala, devem estar abaixo da temperatura máxima externa. Para o dia 16/01/2017, o resultado apresentado foi insatisfatório ao longo do dia, tendo médias de temperaturas internas maiores que a temperatura externa para os recintos.

Ao avaliar a edificação segundo os critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) (Quadro 22), verificou-se que as três zonas apresentaram níveis de desempenho variados, especificados no Quadro 23.

Quadro 22 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 3

<b>Critérios para a zona bioclimática3</b>	<b>Nível</b>
$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$	M
$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	I
$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	S
$T_{i,máx.} > T_{e. máx}$	N.A.
Onde, M: desempenho mínimo // I: desempenho Intermediário // S: desempenho superior // N.A: não atendeu aos critérios da norma	

Fonte: Arquivo do autor, com base na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

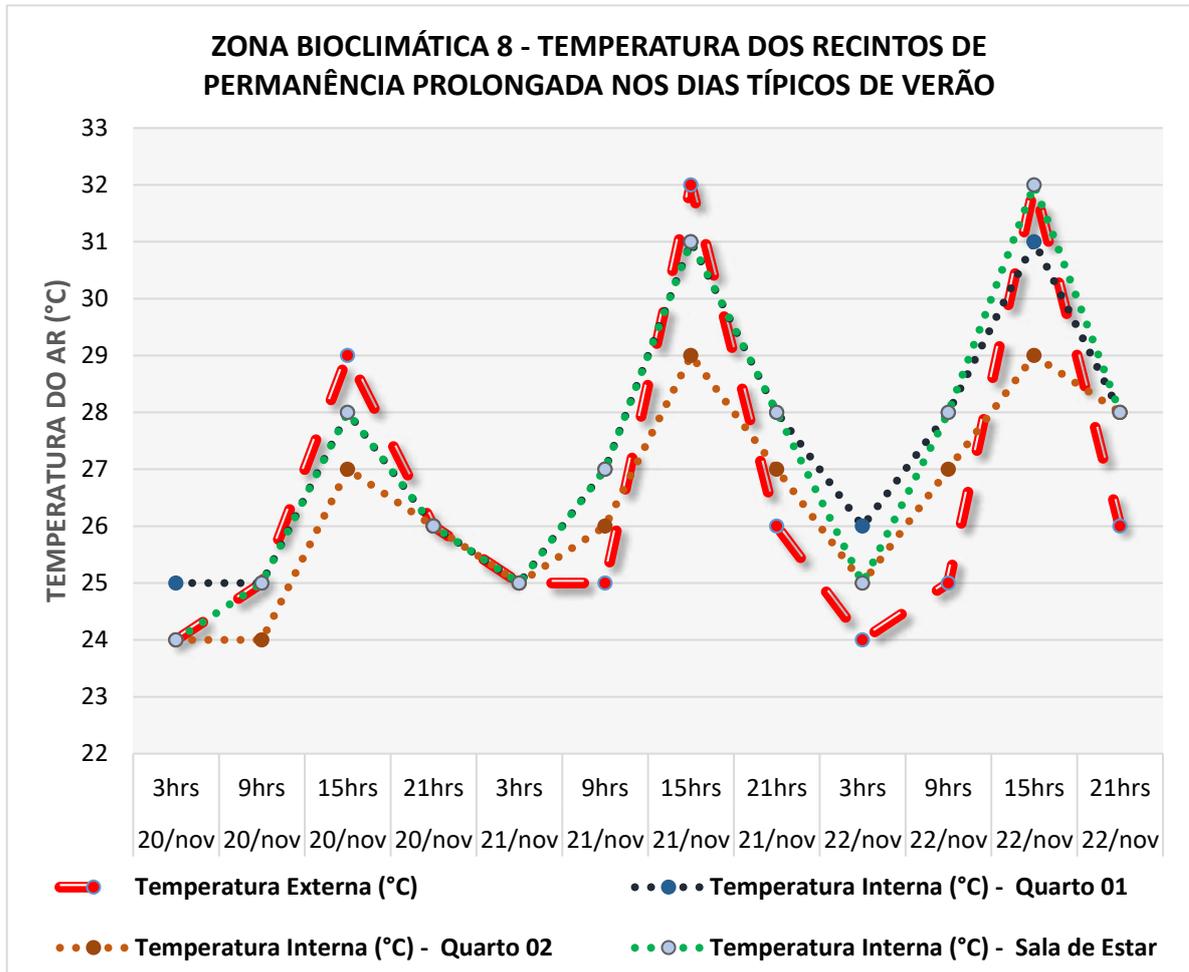
Quadro 23 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 3

<b>Data</b>	<b>Temperatura Interna máxima</b>			<b>Temperatura Externa máxima</b>
	Quarto 01	Quarto 02	Sala de Estar	
-----	Quarto 01	Quarto 02	Sala de Estar	-----
15/01/17	28°C (I)	27°C (S)	28°C (I)	31°C
16/01/17	28°C (N.A)	28°C (N.A)	28°C (N.A)	27°C
17/01/17	28°C (M)	29°C (M)	29°C (M)	29°C

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Para a zona bioclimática 8, especificamente, na cidade de São Luís, efetua-se a simulação das zonas no EnergyPlus, para a obtenção dos dados referentes aos recintos de permanência prolongada, como mostra a Figura 47.

Figura 47 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de verão na ZB 8



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Ao analisar os dias típicos de verão para a zona bioclimática 8, verifica-se que, nos dias 20/11/2017, 21/11/2017 e 22/11/2017, os resultados foram satisfatórios diante das exigências da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), em que preconiza que as maiores temperaturas do dia, para as zonas internas dos quartos e sala, devem estar abaixo da temperatura máxima externa. Os recintos apresentaram variantes de temperatura entre 27°C e 32°C, para os horários mais quentes dos três dias, com destaque para o quarto 02, que, por sua posição privilegiada, mostrou índices de desempenho superior em todos os dias.

Ao avaliar a edificação segundo os critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), (Quadro 24), verificou-se que as três zonas apresentaram níveis de desempenho bem semelhantes, especificados no Quadro 25.

Quadro 24 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para avaliação de desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 8

Critérios para a zona bioclimática 8	Nível
$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx}$	M
$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$	I
$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	S
$T_{i,máx.} > T_{e,máx}$	N.A.
Onde, M: desempenho mínimo // I: desempenho Intermediário // S: desempenho superior // N.A: não atendeu aos critérios da norma	

Fonte: Arquivo do autor (2017), com base na NBR 15.575-1.

Quadro 25 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão na zona bioclimática 8

Data	Temperatura Interna máxima			Temperatura Externa máxima
-----	Quarto 01	Quarto 02	Sala de Estar	-----
20/11/17	28°C (I)	27°C (S)	28°C (I)	29°C
21/11/17	31°C (I)	29°C (S)	31°C (I)	32°C
22/11/17	31°C (I)	29°C (S)	32°C (M)	32°C

Fonte: Arquivo do autor (2017).

#### 3.1.7.4 Avaliação do desempenho térmico nos dias típicos de inverno

A norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), preconiza que os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, no dia típico de inverno, devem ser sempre maiores, ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C. De acordo com os dados das duas cidades, os dias típicos de inverno para a zona bioclimática 3, foram encontrados e catalogados no Quadro 26.

Quadro 26 – Dias típicos de inverno para as zonas bioclimáticas 3 e 8

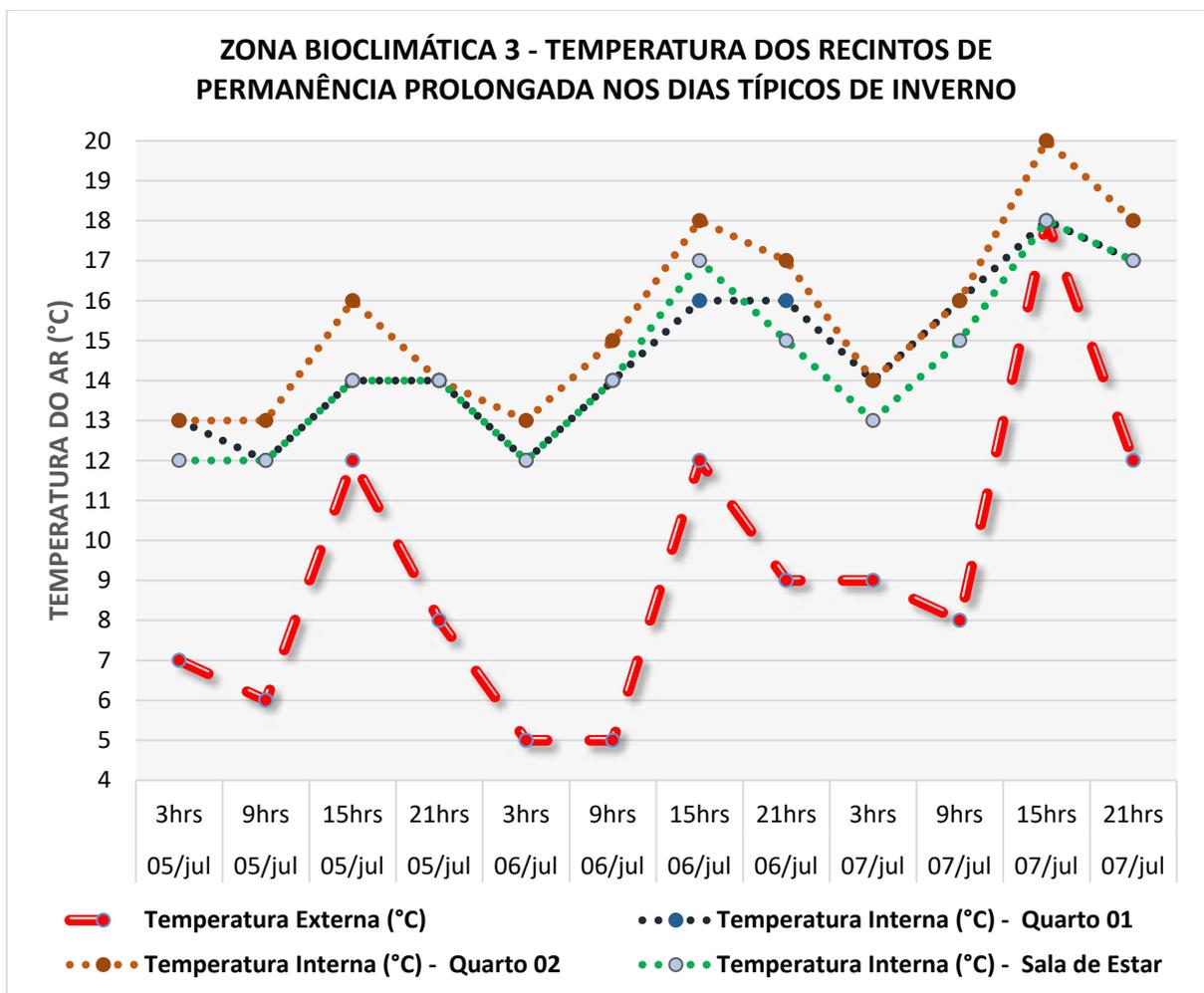
Zona Bioclimática	Cidades	Dias mais frios do ano
8	São Luís	Não precisa ser verificado
3	Porto Alegre	05, 06 e 07 de julho

Fonte: Arquivo do autor (2017).

Vale ressaltar que, a norma estabelece a não avaliação para a zona bioclimática 8, por ao longo do ano apresentar temperaturas constantes. Para maior conforto dos usuários, recomenda-se que os ambientes estejam dentro dos parâmetros para os níveis intermediário (I) e superior (S).

Para a zona bioclimática 3, especificamente, na cidade de Porto Alegre, efetua-se a simulação das zonas no EnergyPlus, para a obtenção dos dados referentes aos recintos de permanência prolongada, como mostra a Figura 48.

Figura 48 – Médias horárias das temperaturas internas e externas dos recintos de permanência prolongada, destacando os dias típicos de inverno na ZB 3



Fonte: Arquivo do autor (2017).

Ao analisar os dias típicos de inverno para a zona bioclimática 3, verifica-se que nos dias 05/07/2017, 06/07/2017 e 07/07/2017, os resultados foram satisfatórios diante das exigências da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), em que preconiza que

as menores temperaturas do dia para as zonas internas dos quartos e sala, devem estar abaixo da temperatura mínima interna.

Ao avaliar a edificação segundo os critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), (Quadro 27), verificou-se que, os recintos apresentaram níveis de desempenho intermediário para os dias 05 e 07 de julho, como também níveis de desempenho superior para o dia 06 de julho, demonstrando conforto térmico satisfatório para os usuários, especificados no Quadro 28.

Quadro 27 – Critérios da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), para avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno na zona bioclimática 3

<b>Critérios para a zona bioclimática3</b>	<b>Nível</b>
$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	M
$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	I
$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	S
$T_{i,min} < T_{e,min}$	N.A.
Onde, M: desempenho mínimo // I: desempenho Intermediário // S: desempenho superior // N.A: não atendeu aos critérios da norma	

Fonte: Arquivo do autor (2017), com base na NBR 15.575-1.

Quadro 28 – Avaliação do desempenho térmico para as condições de inverno na zona bioclimática 3

<b>Data</b>	<b>Temperatura Interna mínima</b>			<b>Temperatura Externa mínima</b>
-----	Quarto 01	Quarto 02	Sala de Estar	-----
05/07/17	12°C (I)	13°C (S)	12°C (I)	6°C
06/07/17	12°C (S)	13°C (S)	12°C (S)	5°C
07/07/17	14°C (I)	14°C (I)	13°C (I)	8°C

Fonte: Arquivo do autor (2017).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou a avaliação de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar de interesse social, através da aplicação dos métodos simplificado e de simulação da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Diante disso, os primeiros resultados foram adquiridos com o auxílio da tecnologia BIM, no qual seus resultados exibiram similaridades entre os níveis de transmitância térmica dos sistemas de vedação vertical externa/interna e da cobertura no método simplificado, para ambas as zonas bioclimáticas destacadas, e as paredes da edificação alcançaram o desempenho mínimo em 67% delas e outros 33% atingiram o nível insatisfatório conforme os parâmetros da NBR 15.575 (ABNT, 2013). A cobertura apresentou índices elevados e insatisfatórios de transmitância térmica, direcionando, assim, o trabalho para uma avaliação mais aprofundada de todo o projeto.

Constatou-se através da metodologia, que a aplicação da tecnologia BIM é imprescindível para a avaliação dos índices de transmitância e capacidade térmica dos invólucros do projeto, demonstrando a possibilidade de criar arquivos modelos que definem os procedimentos prescritivos da norma, simultaneamente, ao desenvolvimento do projeto, contribuindo com análises automatizadas. Contudo foi concluído que o *Autodesk® Revit* apresenta limitações para o prosseguimento das avaliações de desempenho térmico como preconiza a NBR 15.575 (ABNT, 2013). Neste caso as simulações computacionais com maior complexidade, tiveram o auxílio de outras ferramentas que concluísse os objetivos expostos no trabalho, sendo elas o *Trimble® SketchUp*, *OpenStudio* e *EnergyPlus*.

As simulações computacionais constataram, que, para os dias típicos de verão da zona bioclimática 3, o desempenho térmico alcançou índices satisfatórios nos dias 15/01 17/01, porém, destaca-se que, no dia 16/01 os recintos de permanência prolongada apresentou níveis de desempenho insatisfatórios, sendo assim a NBR 15575 (ABNT, 2013) destaca recomendações que envolve o aumento das taxas de renovação do ar para 5 ren/h como também a inserção de dispositivos de proteção solar nas esquadrias externa do projeto, capaz de cortar 50% da radiação solar direta. Para os dias típicos de verão da zona bioclimática 8, os resultados foram satisfatórios, atendendo critérios de desempenho mínimo, destacando o quarto 02 que apresentou índices superiores conforme a norma. Dessa forma, conclui-se que a orientação solar do projeto e suas estratégias

adotadas contribuiu diretamente, para o aumento do conforto térmico nos recintos da edificação.

Para a avaliação dos dias típicos de inverno da zona bioclimática 3, os resultados apresentados pela simulação computacional, destacou-se no dia 06/07, a predominância do nível de desempenho superior em todos os recintos de permanência prolongada, constatando que o emprego do projeto para regiões climáticas de baixas temperaturas, podem efetuar um desempenho térmico funcional.

As simulações computacionais realizadas também permitem concluir, que a prática construtiva amplamente difundida em grande escala no território brasileiro, no qual um único modelo de edificação de interesse social é aplicado em diversos conjuntos habitacionais, podem resultar em desempenhos variados para as diferentes zonas bioclimáticas do Brasil, proporcionando satisfação de conforto em alguns casos e, em outros, condições inapropriadas de habitabilidade aos seus moradores.

Diante dos resultados, sugere-se que outros trabalhos definidos pela metodologia de modelagem com finalidades de análises de desempenho, sejam difundidos como práticas, para o desenvolvimento preliminar de projetos arquitetônicos, ressaltando também a relevância da NBR 15.575 (ABNT, 2013), para o avanço constante do desenvolvimento do setor da construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K. **Introdução à gestão ambiental**. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12. São Paulo: EPUSP, 1995.
- ANDRADE, P. S. B. **Habitação de interesse social, representação social da moradia, apropriações de espaços e intervenções de uso**: estudo de casos: Residencial Jaçanã e Residencial Xavante II em Belém, PA. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse**: um estudo de casos. 2013. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, 2013.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for HumanOccupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1/2013**: edificações habitacionais – desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-4/2013**: Edificações habitacionais – desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575-5/2013**: Edificações habitacionais – desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1/2003**: Desempenhotérmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-2/2003**: 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, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3/2003**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.
- AUTODESK. **Building Performance Analysis**. Disponível em: <<https://gbs.autodesk.com/GBS/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- BELÚCIO, L. P. et al. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.4, p.494 - 504, set./jun. 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Política nacional de desenvolvimento urbano**. Ed. Espalha fato Comunicação. Brasília: MCIDADES, 2014.

BUILDIPEDIA.COM. **Ciclo da utilização da tecnologia BIM na construção civil**. Disponível em: <<http://buildipedia.com/instudio/item/1212-the-daily-life-of-building-informationmodeling-bim>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BUILDERS CONSTRUÇÕES. **Residencial Nova Barra: etapas I e II**. São Luís, 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda Habitacional no Brasil**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2017.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15.575/2013**. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308p.

CAMPESTRINI, T. F. et al. **Entendendo BIM**. Curitiba: [S.n.], 2015.

CALAZANS, C. J. **Análise da ABNT NBR 15575: 2013 com ênfase em desempenho térmico**. 2016. 47f. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído – Departamento de Engenharia de Materiais de Construção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2016.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575-para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.119-134, out./dez. 2014.

CUNHA, L. J. B. F. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural em projetos de edificações em Natal-RN**. 2010. 140f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2010.

CECCHETTO, C. T. et al. Habitação de Interesse Social e Sustentabilidade: Um Estudo sobre o Protótipo Casa Alvorada. **XVII Seminário Internacional de Educação no MERCOSUL**, Cruz Alta: UNICRUZ, 2015.

DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. Disponível em: <<https://energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>>. Acesso em: 30 de nov. 2017.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação de desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. 2002. 140f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Paraná, 2002.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM**: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho, Kléos Magalhães Lenz César Júnior, Rita Cristina Ferreira, Sérgio Leal Ferreira. 2. ed. Porto Alegre: Bookman LTDA., 2014.

ENERGYPLU. **Localização dos dados climáticos das principais cidades do mundo**. Disponível em: <<https://energyplus.net/weather>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

FERREIRA, C. C.; PEREIRA I. M. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, p. 3590-3595, out. 2012.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006.

GRZYBOWSKY, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá – MT**: estudo de caso. 2004. 97f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

GIACOMINI, G. et al. **Mini-cursoSketchUp6**. Viçosa: [S.n.], 2007.

GOOGLE MAPS. **Localização das cidades de São Luís – MA e Porto Alegre – RS**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmap - Energy efficientbuilding envelopes**. Paris: IEA Publications, 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environment, analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2005.

KUHN, E. A.; NERBAS, P. F. Desafios à inserção de requisitos de sustentabilidade ambiental em projetos-padrão para habitação de interesse social: o caso Casa Cerâmica. **Anais do I Congresso Internacional de Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2010.

KRÜGER, E. L. O uso de equações preditivas na avaliação do desempenho térmico de um protótipo habitacional constituído de materiais alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 3, n. 2, p. 77-86, abr./jun. 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Eletrobras/Procel, 2014.

LARCHER, J. V. M. **Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse social.** 2005. 189f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2005.

LIMA, T. B. **Análise de desempenho térmico de edificações habitacionais:** desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220.2014. 86f. Monografia (Graduação em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2014.

MORENO, A. C. R. **Minha Casa Minha Vida:** análise de desempenho térmico pela NBR 15220-3, NBR 15575, selo Casa Azul e RTQ-R. 2013. 205f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

OLGYAY, V. **Design With Climate:** bioclimatic approach to architectural regionalism. Princenton, New Jersey: Princeton University Press, 1963.

SPANNENBERG, M. G. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social:** estudo de caso em Marau – RS. 2006. 189f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

SILVA, N. L. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa - PB.** 2015. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2015.

SIQUEIRA, T. C. P. A. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Engenharia Civil**, Ouro Preto, v. 58, n. 2, p.133-138, abr./jun. 2005.