

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL DIAS FLAUZINO CITTADIN

**ANÁLISE TÉRMICA DA ENVOLTÓRIA DE PAREDES DE ALVENARIA
E DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UMA
ZONA BIOCLIMÁTICA 1**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

GABRIEL DIAS FLAUZINO CITTADIN

**ANÁLISE TÉRMICA DA ENVOLTÓRIA DE PAREDES DE ALVENARIA
E DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UMA
ZONA BIOCLIMÁTICA 1**

**THERMAL ANALYSIS OF THE ENVELOPE OF BRICK WALLS AND
CAST-IN-PLACE CONCRETE: CASE STUDY IN A BIOCLIMATIC
ZONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de
Engenharia Civil da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.
Orientador. Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro.

GUARAPUAVA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL DIAS FLAUZINO CITTADIN

**ANÁLISE TÉRMICA DA ENVOLTÓRIA DE PAREDES DE ALVENARIA
E DE CONCRETO MOLDADO IN LOCO: ESTUDO DE CASO EM UMA
ZONA BIOCLIMÁTICA 1**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de
Engenharia Civil da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Data de aprovação: 03 de dezembro de 2021

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rubia Mara Bosse
Mestra em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ana Cláudia Menoncin Loper
Mestra em Engenharia Civil

GUARAPUAVA

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares, pais por todo apoio e suporte em toda a jornada acadêmica, e esposa pelo apoio e paciência principalmente nesse final de curso.

O desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda próxima do professor orientador Rodrigo Scoczynski Ribeiro, agradeço por todo suporte para a realização das atividades.

Aos meus caros colegas de formação acadêmica e professores pela parceria e ensinamentos em todos esses anos de curso.

Aos meus amigos e mentores Engenheiro Tadeu Vaccari e Engenheiro Diego Fernando Martins por todos os ensinamentos durante o período de formação acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho exemplifica uma análise de desempenho térmico de diferentes modelos construtivos, com objetivo de evidenciar qual a vedação vertical externa (VVE) melhor se comporta em relação ao conforto ambiental para uma edificação inserida em zona bioclimática fria. Para a verificação do desempenho térmico das VVE, foi utilizado um projeto de uma edificação unifamiliar da cidade de Guarapuava-PR, e com auxílio de programas computacionais, foi realizada uma análise entre os modelos construtivos de concreto moldado in loco e de blocos cerâmicos com revestimento argamassado. Após os resultados obtidos pelos softwares foram aplicados os requisitos da norma de desempenho NBR 15575-1 (2021) para a verificação quanto ao desempenho térmico dos modelos seguida de avaliação do atendimento aos critérios mínimos da referida norma frente à zona bioclimática, e por fim evidenciando a eficiência da edificação com blocos cerâmicos em relação às de concreto moldado in loco.

Palavras-chave: Concreto armado, vedações verticais, alvenaria, desempenho térmico.

ABSTRACT

This work exemplifies an analysis of the thermal performance of different construction models, with the objective of showing which external vertical sealing (VVE) best behaves in relation to environmental comfort for a building located in a cold bioclimatic zone. To verify the thermal performance of the VVE, a project of a single-family building in the city of Guarapuava-PR was used, and with the aid of computer programs, an analysis was carried out between the constructive models of cast-in-place concrete and ceramic blocks with mortar coating. After the results obtained by the software, the requirements of the performance standard NBR 15575-1 (2021) were applied to verify the thermal performance of the models, followed by a compliance assessment with the minimum criteria of that standard against the bioclimatic zone, and finally evidencing the efficiency of the building with ceramic blocks in relation to those with cast-in-place concrete.

Keywords: Reinforced concrete, vertical fences, brick, thermal performance.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Traços de argamassas.....	19
Quadro 2 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT _{APP}	25
Quadro 3 - Troca de dimensões das janelas para casa de referência.....	28
Quadro 4 - Porcentagem de ocupação e iluminação durante as horas do dia na APP.....	30
Quadro 5 - Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nas APP.....	38
Quadro 6 - Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência.....	39
Quadro 7 – Valores encontrados para APP quarto 1 modelo alvenaria.....	41
Quadro 8 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo alvenaria.....	41
Quadro 9 - Valores encontrados para APP sala modelo alvenaria.....	41
Quadro 10 – Resultados obtidos para Unidade Habitacional em parede de alvenaria.....	42
Quadro 11 - Valores encontrados para APP quarto 1 modelo concreto.....	42
Quadro 12 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo concreto.....	42
Quadro 13 - Valores encontrados para APP sala modelo concreto.....	42
Quadro 14 - Resultados obtidos para Unidade Habitacional em parede de concreto.....	43
Quadro 15 - Valores encontrados para APP quarto 1 modelo referência.....	43
Quadro 16 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo referência.....	43
Quadro 17 - Valores encontrados para APP sala modelo referência.....	44
Quadro 18 - Resultados obtidos para Unidade Habitacional modelo de referência.....	44
Quadro 19 – Critério de percentual de horas de ocupação.....	44
Quadro 20 – Critério quanto a temperatura operativa máxima casa alvenaria..	45
Quadro 21 - Critério quanto a temperatura operativa mínima casa alvenaria ...	45
Quadro 22 - Critério quanto a temperatura operativa máxima casa concreto ...	46
Quadro 23 - Critério quanto a temperatura operativa mínima casa concreto	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma do esquema do concreto armado.....	16
Figura 2 – Marquise da tribuna do Jockey	17
Figura 3 - Fôrmas de casas no condomínio Porto Real na cidade de Guarapuava.....	17
Figura 4 - Esquema de Vedações verticais em blocos cerâmicos.....	18
Figura 5 – Esquema representativo transmitância térmica	22
Figura 6– Mapa de Zoneamento bioclimático brasileiro	23
Figura 7 - Fluxograma de procedimentos de desempenho térmico	24
Figura 8 – Planta baixa.....	26
Figura 9 - Unidade habitacional no <i>software Revit</i>	28
Figura 10 - Unidade habitacional exportado em zonas para utilização no <i>OpenStudio</i>	29
Figura 11 - Georreferenciamento da edificação	29
Figura 12 - Caracterização APP quarto no <i>OpenStudio</i>	31
Figura 13 - Caracterização APP sala no <i>OpenStudio</i>	31
Figura 14 - Exemplo de caracterização do APP sala.....	32
Figura 15 - Alocação de cada componente da edificação em um sistema construtivo.....	33
Figura 16 - Geometria da unidade habitacional com zonas térmicas caracterizadas	34
Figura 17 – Interface principal (EP-Launch) do <i>software EnergyPlus</i>	35
Figura 18 – Propriedades de ocupação no <i>software EnergyPlus</i>	36
Figura 19 - Propriedades de iluminação no <i>software EnergyPlus</i>	37
Figura 21 - Propriedades de equipamentos no <i>software EnergyPlus</i>	37
Figura 21 – Propriedades quanto ventilação natural para portas e janelas no <i>EnergyPlus</i>	38
Figura 22 - Propriedades quanto ventilação nas esquadrias para modelo de referência no <i>EnergyPlus</i>	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
C_b	Coefficiente de descarga da abertura
DPI	Densidade de potência instalada
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
Nh_{FT}	Número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro da faixa de temperatura operativa
Nh_{Ocup}	Número de horas de em que APP se encontra ocupado ao longo do ano
PHFT	Percentual de Horas de ocupação dentro de uma Faixa de Temperatura operativa
$P_{t,APP}$	Percentual de Elementos Transparentes
$P_{v,APP}$	Percentual de abertura para ventilação
SVVE	Sistema de Vedações Verticais Externas
T_o	Temperatura Operativa
$Tomáx$	Temperatura Operativa anual máxima
$Tomín$	Temperatura Operativa anual mínima
UH	Unidade Habitacional

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Conductividade térmica, W/(m.K)
ε	Emissividade
U	Transmitância térmica, W/(m ² .K)
C _T	Capacidade térmica de componentes, J/(m ² .k)
ρ	Densidade de massa aparente, Kg/m ³
c	Calor específico, KJ/Kg.K
Q	Fluxo de calor, K
FS	Fator Solar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 O concreto armado	16
3.1.1 Concreto moldado in loco	17
3.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM ALVENARIA BLOCOS CERÂMICOS	18
3.2.1 Alvenaria	18
3.2.2 Argamassa de assentamento	18
3.3 Arquitetura bioclimática	19
3.4 Conforto térmico	20
3.4.1 Parâmetros térmicos	20
3.4.1.1_Densidade de massa aparente	<u>21</u>
3.4.1.2_Calor específico.....	<u>21</u>
3.4.1.3_Condutividade térmica.....	<u>21</u>
3.4.1.4_Emissividade e absortividade.....	<u>21</u>
3.4.1.5_Transmitância térmica.....	<u>22</u>
3.4.1.6_Capacidade térmica	<u>22</u>
3.4.2 Normativas Brasileiras	23
4 METODOLOGIA	26
4.1 Apresentação do projeto casa real	26
4.2 Metodologia da pesquisa	27
4.2.1 Modelagem das zonas térmicas no <i>software Revit</i>	27
4.2.2 Definições de propriedades no <i>software OpenStudio</i>	29
4.2.2.1_Georeferenciamento	<u>29</u>
4.2.2.2_Criação dos ambientes.....	<u>30</u>
4.2.2.3_Formação do Sistema construtivo.....	<u>32</u>
4.2.3 Simulação dos modelos no <i>software EnergyPlus</i>	34
5 RESULTADOS	40
5.1 Dados de saída da simulação computacional	40
5.2 Resultados alcançados com a casa de alvenaria	41
5.3 Resultados alcançados com a casa em concreto armado	42

5.4 Resultados alcançados com a casa de referência.....	43
5.5 Avaliação quanto aos critérios estabelecidos em norma	44
5.5.1 Critério de percentual de horas de ocupação	44
5.5.2 Critério para Temperatura operativa máxima e mínima	45
6 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49
ANEXO 1.....	51
ANEXO 2.....	52
ANEXO 3.....	53

1 INTRODUÇÃO

Segundo El Debs (2017), a construção civil apresenta baixa produtividade, atraso recorrente nas entregas das edificações, grande desperdício de material e também baixo controle de qualidade, devido em grande parte, à mão de obra desqualificada. Enquanto muitos setores da indústria avançaram no desenvolvimento e emprego de soluções inovadoras, a construção civil pouco conseguiu nesse aspecto.

Sobretudo nos últimos anos, novos modelos construtivos, tais como *light steel frame*, *wood frame*, *containers*, *construção a seco (drywall)* e *concreto moldado in loco*, têm conquistado espaço no setor.

Dos métodos citados, destaca-se a utilização de concreto moldado in loco para todos os elementos da estrutura, não somente o estrutural da casa (pilares e vigas), mas também suas vedações verticais tanto externas como internas. Nesse sistema, diferentemente do método convencional que se trata de elementos de alvenaria argamassada para vedações verticais, a edificação como um todo é feita de concreto armado, somente ficando telhado e aberturas para outros materiais.

Uma vez que a edificação muda o material que é feita, podemos então fazer uma verificação quanto ao conforto ambiental, pois o material concreto pode se comportar de maneira diferente da alvenaria argamassada. Existem diversos fatores que influenciam o conforto ambiental dentro da edificação, como, por exemplo, os confortos térmico, acústico, visual e de qualidade interna do ar (SARBU, 2013).

Este trabalho se restringirá ao conforto térmico. O desempenho térmico foi estabelecido pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2021), na Norma 15575, e não se trata de condicionamento artificial (refrigeração ou calefação), ou seja, os critérios de desempenho foram estabelecidos em condições naturais e dependem dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE), além de fatores, como: onde está inserida a obra (topografia, umidade do ar, temperatura, velocidade dos ventos etc.) e características da obra (materiais, quantidade de pavimentos, orientações de fachadas, pé direito etc.).

Analisando o fator de local, foi verificado, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005), na Norma 15220-3, que o Brasil está dividido em oito zonas bioclimáticas. Para o estudo em questão, consideramos a

edificação na cidade de Guarapuava - PR, que está na zona bioclimática 1, considerada a zona mais fria.

Diante disso, fica notória a análise dos métodos construtivos, convencional (alvenaria com revestimento argamassado) e concreto moldado in loco numa edificação habitacional, mostrando resultados que contribuam para uma análise térmica comparando vedações verticais externas inseridas em zona bioclimática 1, para evidenciar o melhor desempenho e quanto a sua verificação perante a norma.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os sistemas construtivos em concreto armado (moldado *in loco*) e de blocos cerâmicos com revestimentos argamassados quanto aos desempenhos térmicos em um estudo de caso.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar o desempenho térmico dos estudos de caso com ferramentas computacionais;
- Avaliar o comportamento térmico das vedações verticais de concreto moldado *in loco* e alvenaria com revestimento argamassado;
- Analisar o resultado de desempenho térmico conforme parâmetros da NBR 15575:2021– Desempenho de edificações habitacionais;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O concreto armado

O concreto é um material resultante da mistura de um aglomerante (cimento) com agregados miúdos e graúdos (areia e pedra) e água em proporções definidas para cada resistência, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015), na Norma 12655, e “[...] pode conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas” (BASTOS, 2019, p. 17). O autor ainda afirma que o concreto com as características de durabilidade, boa resistência à compressão e baixo custo, aliado à armação de ferro e suas propriedades de ductilidade e resistência à tração, forma uma importante composição para elementos estruturais em uma edificação.

No entanto, o conceito de concreto armado envolve, ainda, o fenômeno da aderência, que é essencial e deve obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura para formar, então, o concreto armado definitivo (Figura 1), no qual a deformação num ponto da barra de aço e a deformação no concreto são iguais (BASTOS, 2019).

Figura 1- Fluxograma do esquema do concreto armado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

A primeira teoria do concreto armado publicada que realmente ganhou destaque, criando as primeiras normas de cálculo, foi a do Alemão Edward Morsch, engenheiro civil, em 1902, na Universidade de Stuttgart, caracterizando a clássica treliça de Morsch, que ainda é aceita até nos dias atuais (BASTOS, 2019).

No Brasil, Bastos (2019) afirma que surgiram as primeiras obras de concreto armado no início do século 20, tendo como alguns destaques a marquise da tribuna do Jockey (Figura 2), com 22,4m em balanço, no ano de 1926; o edifício Martinelli, em São Paulo, com 106,5m de altura, em 1925; a usina hidrelétrica de Itaipu, com 196m de altura, em 1984.

Figura 2 – Marquise da tribuna do Jockey



Fonte: <riodejaneiroaqui.com> (2020) .

3.1.1 Concreto moldado in loco

Diferente do modo das vedações verticais convencionais o concreto moldado in loco para paredes necessita de fôrmas (Figura 4), elas são elementos temporários, necessitam de um escoramento bem planejado para aguentar a pressão do concreto inserido, tornando assim produtos padronizados, com sessões já pré-estabelecidas (MISURELLI e MASSUDA, 2009).

Figura 3 - Fôrmas de casas no condomínio Porto Real na cidade de Guarapuava



Fonte: Autor (2021).

A padronização resulta em economia importante no processo de fabricação em virtude dos baixos custos de fôrmas e da reutilização das mesmas, em consequência disso uma redução no desperdício de material (ACKER, 2002). Em contrapartida, existe uma limitação nos formatos, o que se torna, em alguns casos, um problema na diversificação dos projetos e, também, porque a estética fica mais limitada (EL DEBS, 2017).

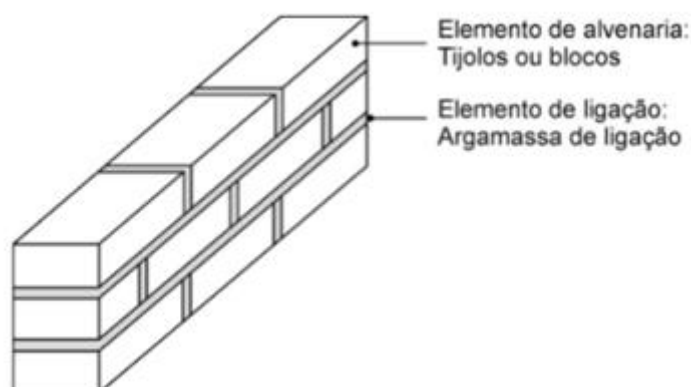
3.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM ALVENARIA BLOCOS CERÂMICOS

3.2.1 Alvenaria

Segundo Salgado (2018), podemos chamar as vedações verticais os elementos que separam os ambientes internos e o que faz o controle de agentes externos como vento, água, poluição sonora, até mesmo a barreira para animais ou intrusos e tem como serventia trazer conforto habitacional em uma edificação.

A alvenaria (Figura 5) é um conjunto de um composto rígido (blocos cerâmicos) feito em um local próprio, com um material maleável (argamassa de assentamento) para que possa fazer a ligação entre eles (SALGADO, 2018)

Figura 4 - Esquema de Vedações verticais em blocos cerâmicos



Fonte: Salgado (2018).

3.2.2 Argamassa de assentamento

Utilizando a argamassa de assentamento para a união entre os blocos facilitamos a uniformização da alvenaria. Ela é composta por cimento, cal hidratada

e areia. Para o recebimento do revestimento da vedação vertical, chamado emboço, faz-se o uso do chapisco sendo uma camada fina e rugosa de uma mistura de argamassa (cimento e areia) (SALGADO, 2018). Em termos gerais temos os seguintes traços:

Quadro 1 - Traços de argamassas.

	Composição em volume		
	Cimento	Cal hidratada	Areia
Argamassa de assentamento	1	2	6 a 10
Argamassa de encunhamento	1	3	10 a 12

Fonte: Salgado (2018).

Segundo Salgado (2020) é praticado a espera de um dia depois de feita a mistura para assim usar, isso pelo fato de melhorar a hidratação da cal dando uma melhor plasticidade e aderência.

3.3 Arquitetura bioclimática

A arquitetura bioclimática consiste em técnicas construtivas para trazer um melhor conforto térmico baseando-se em um clima local, interagindo com fontes do meio circundante para fim de trazer um ambiente satisfatório para morar e que precise do menor uso de energia (CORBELLA e YANNAS, 2003). Observando a arquitetura tradicional desde a antiguidade, podemos afirmar que já é bioclimática, pois, os elementos empregados em cada edificação, como abertura de janelas, posicionamento da edificação, cota de elevação da edificação, mudam conforme a região buscando o melhor uso do sol, do vento e umidade.

Nesse contexto, projetos de arquitetura que apresentem soluções para lidar com as condições ambientais locais, envolvendo temperatura do ar, temperatura superficial, umidade, radiação solar, ventos, ruído e, ainda, qualidade do ar, aliadas a um bom aproveitamento da luz natural, estão contribuindo para a realização de uma arquitetura de menor impacto ambiental, no que tange à questão da energia (DUARTE E GONÇALVES, 2006, p.56)

Segundo Corbella e Yannas (2003), existem algumas estratégias a serem propostas em projetos para que tornem uma edificação bioclimática em relação ao conforto térmico, estas são:

- Controlar os ganhos de calor;
- Dissipar a energia térmica do interior da edificação;
- Remover a umidade em excesso e movimentar o ar;
- Promover o uso da iluminação natural

3.4 Conforto térmico

O conceito de conforto térmico se dá na satisfação do ser humano com o ambiente térmico no qual ele está inserido. A não satisfação pode se dar pelo contato com o frio ou o calor e isso ocorre quando o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente não estão em equilíbrio (DUARTE, 2016). O autor ainda afirma que:

Conforto térmico, tomado como uma sensação humana, está situado no campo subjetivo e depende, além de fatores físicos, de fatores fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio; já os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica; e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo. (DUARTE, 2016, p. 06).

O corpo humano tem como característica permanecer em temperatura interna constante (homeotérmico) independente do clima que está inserido ou as condições de temperatura que está submetido no momento. Essa capacidade de se manter assim é devido ao fato da transformação das calorias ingeridas em energia (metabolismo) e isso promove uma troca de calor com o ambiente em que se encontra, com condições desfavoráveis, o corpo humano acaba sofrendo e causando um desconforto térmico (COELHO e CRUZ, 2017).

3.4.1 Parâmetros térmicos

Para a análise do conforto térmico temos que levar em considerações alguns parâmetros que influem nas características da edificação e nas verificações como um todo, pois cada material trás consigo suas propriedades.

3.4.1.1 Densidade de massa aparente

Segundo a norma NBR-15220 (2005), basicamente a densidade de massa aparente é a razão entre o quanto pesa um composto pelo seu volume (kg/m^3), trazendo para cada elemento aplicado a construção civil um valor.

3.4.1.2 Calor específico

Calor específico é uma grandeza que indica o comportamento do material quanto à variação de sua temperatura quando há uma troca de energia na forma de calor, ou seja, a quantidade de calor necessária para que um quilograma do componente variar sua temperatura (J/Kg.K). É importante ressaltar que esta característica depende apenas do material de que é feito o corpo (BAUER, WESTFALL e DIAS, 2012).

3.4.1.3 Condutividade térmica

A condutividade térmica (W/m.K) é a habilidade de um certo material em conduzir calor, quanto maior sua condutividade térmica maior a facilidade da condução ocorrer ou de forma mais rápida, desta maneira materiais com grande condutividade são usados como dissipadores de calor e ao contrário são utilizados como isolantes térmicos. O inverso da condutividade térmica é a resistividade térmica (BAUER, WESTFALL e DIAS, 2012).

3.4.1.4 Emissividade e absortividade

A emissividade de um composto está relacionada com a capacidade de emissão de calor (energia) da sua superfície.

A emissividade de um material está correlacionada com a capacidade de absorção da superfície. De acordo com a lei de Kirchhoff, a emissividade (ϵ) de uma superfície à temperatura T é igual à absortividade (α) para uma radiação incidente originada de um corpo à mesma temperatura [18, 24, 30, 31], ou seja, toda a energia que o material absorveu será emitida para o ambiente (NOVO, BITENCOURT, *et al.*, 2014).

Possui a capacidade de emitir energia eletromagnética todos os corpos a temperatura superior a zero Kelvin.

3.4.1.5 Transmitância térmica

Como definição segundo a norma NBR-15220 (2005), a transmitância térmica de um componente é o quanto ele conduz de uma face da parede até a outra face (Figura 5), sendo transportado o calor por condução uma vez que ocorrem diferenças de temperaturas entra face externa e interna.

Figura 5 – Esquema representativo transmitância térmica



Fonte: <<https://ca-2.com/conceitos-básicos-de-conforto-ambiental>> (2021).

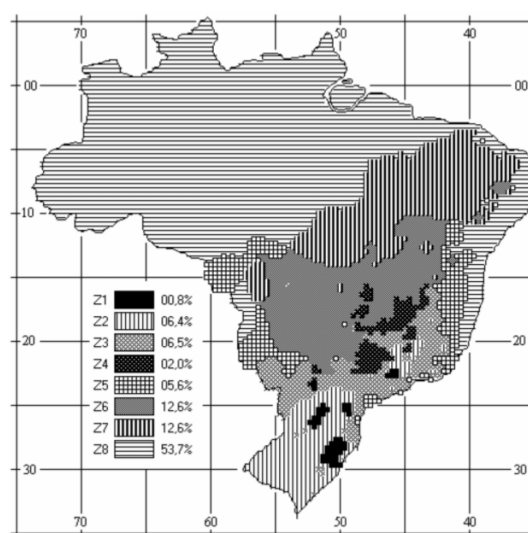
3.4.1.6 Capacidade térmica

Capacidade Térmica é uma grandeza que mede a quantidade de calor que deve ser absorvida ou cedida por um corpo para que ocorra variação de 1 °C (NBR-15220, 2005). Quanto maior a capacidade térmica de um material, maior é a sua capacidade de “pegar” o calor do ambiente e armazenar em sua estrutura, reduzindo a temperatura do ar ao seu redor. Sistemas em concreto aparente tendem a ter uma capacidade térmica mais alta.

3.4.2 Normativas Brasileiras

A primeira normatização do desempenho térmico de edificações no território nacional iniciou na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005 p. 02), com a norma NBR 15220-3, que “[...] estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro [Figura 6] abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social”.

Figura 6– Mapa de Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2005).

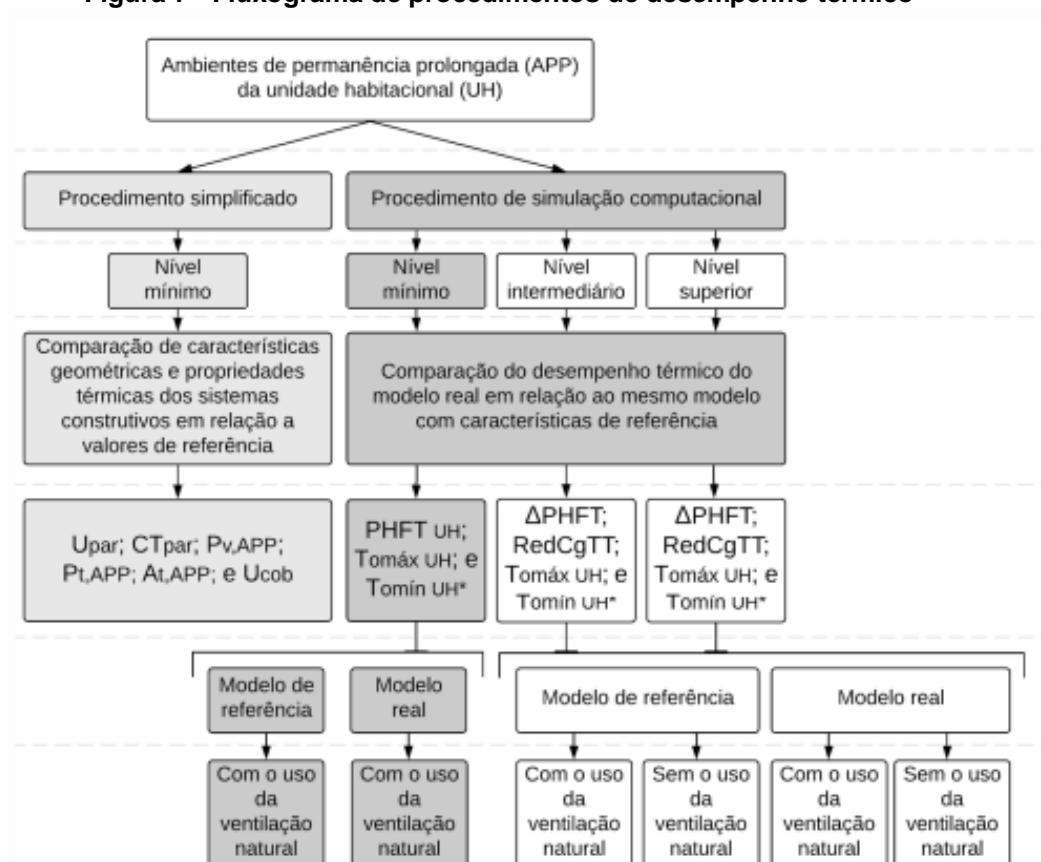
A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2021) tem a NBR 15575-1 como a norma mais recente, que trata do desempenho térmico em habitações, considerando os componentes que ela compõe (paredes, portas, telhado, janela) junto com cargas térmicas de pessoas, equipamentos e iluminação. O desempenho é avaliado através de ambientes de permanência prolongada (APP), onde é caracterizado como APP, dormitórios e sala.

Conforme se observa, a referida Norma estabelece um procedimento normativo simplificado para quando os resultados da avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica não forem satisfatórios, portanto, o projetista deve analisar a edificação com métodos computacionais. Segundo a norma existem 3

níveis, mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), onde é obrigatório a avaliação no nível mínimo sendo facultativo os outros dois.

Para o método computacional é avaliado o desempenho de uma UH (unidade habitacional) comparando o modelo real e um modelo de referência, para o modelo de referência a Norma estabelece as características específicas com mudanças nos materiais e aberturas das janelas. A análise do nível mínimo é usado para os dois modelos o uso de ventilação natural (Figura 7).

Figura 7 - Fluxograma de procedimentos de desempenho térmico



Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021).

A referida Norma estabelece um percentual de horas de ocupação dentro da área de permanência prolongada ($PHFT_{APP}$), dentro de uma faixa de temperatura operativa, existindo três intervalos de Temperatura operativa (Quadro 2), que dependem da Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) para definir os intervalos, sendo menor que $25^{\circ}C$ intervalo 1, maior que $27^{\circ}C$ intervalo 3 e entre as temperaturas o intervalo 2.

Quadro 2 - Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT_{APP}

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada
Intervalo 1	$18^{\circ}\text{C} < T_{OAPP}^a < 26^{\circ}\text{C}$
Intervalo 2	$T_{OAPP} < 28^{\circ}\text{C}$
Intervalo 3	$T_{OAPP} < 30^{\circ}\text{C}$

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021).

Para chegar na resultante do percentual de horas de ocupação dentro da unidade habitacional (PHFT_{UH}) é feita a média das PHFT_{APP}, que resulta da razão entre o número de horas em que o APP se encontra ocupado dentro da faixa de temperaturas operativas (Nh_{FT}) e o número de horas da própria APP durante o ano (Nh_{Ocup}), evidenciando que as horas de ocupação para salas são 2920 h e para os quartos são 3650 h.

Com o cálculo das PHFT_{UH}, tanto para a casa real como para a casa de referência a Norma estabelece que:

Para o atendimento ao critério de PHFT_{UH} no nível mínimo (M), o modelo real de simulação computacional deve apresentar, ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos APP, PHFT_{UH,real} que seja superior a 90 % do obtido para o modelo de referência (PHFT_{UH,ref}) (NBR 15575-1, 2021, p 47).

A análise quanto ao desempenho térmico no nível mínimo considera temperatura operativa máxima anual (Tomáx_{UH}) e temperatura operativa mínima anual (Tomín_{UH}) dentro da unidade habitacional. A obtenção do valor da máxima e da mínima é o maior e o menor dos valores obtidos temperaturas operativas em cada APP respectivamente. O critério de avaliação se da:

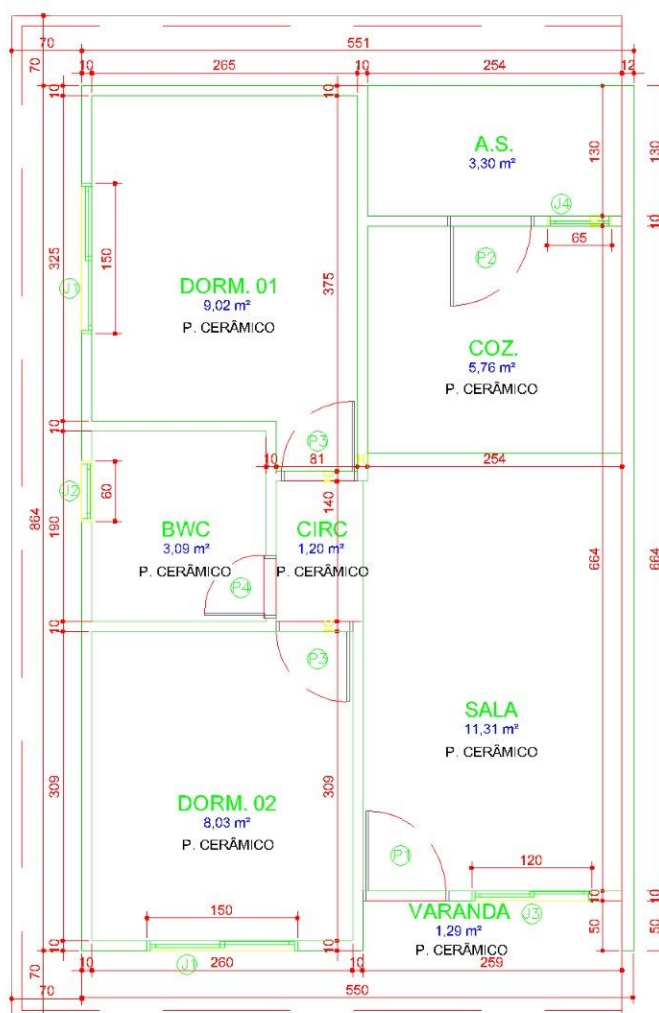
- $Tomáx_{UH,REAL} \leq Tomáx_{UH,REF} + 2^{\circ}\text{C}$
- $Tomín_{UH,REAL} \geq Tomín_{UH,REF} - 1^{\circ}\text{C}$

4 METODOLOGIA

4.1 Apresentação do projeto casa real

A primeira etapa desenvolvida foi a escolha do projeto unifamiliar, na cidade de Guarapuava-PR. Trata-se de um projeto cedido por uma empresa da região, de edificação de casa popular térrea, contendo um total de área total de 47,52 m² com área útil de 43,00 m², contendo sala conjugada com cozinha, dois quartos e banheiro (Figura 9).

Figura 8 – Planta baixa



PLANTA BAIXA REAL

ÁREA CONSTRUÍDA: 47,52 m²
 ÁREA ÚTIL: 43,00 m²

Fonte: Rottas Construtora (2021).

A caracterização da casa real se dá por paredes em concreto armado com espessura de 10 centímetros e laje de cobertura com mesma espessura, portas externas e internas de madeira com uma 2,54 centímetros, janelas ficam com vidro comum de 3 milímetros e por fim cobertura com telhas fibrocimento 6 milímetros de espessura.

A mudança para a casa comparativa se dá apenas pelas paredes externas e internas que é o objeto de avaliação em questão, alterando então para uma parede de alvenaria argamassada com tijolos de 14 centímetros de espessura, 9 centímetros de altura e 24 centímetros de comprimento com 6 furos cada, acrescido de uma argamassa de revestimento, para parte externa da parede de 2,5 centímetros e parte interna 2,0 centímetros.

4.2 Metodologia da pesquisa

A pesquisa foi feita em três etapas para chegar ao resultado final, primeiramente é modelado as casas real e de referência no *software Revit* para a caracterização das zonas térmicas, posteriormente é utilizado essa modelagem no *software OpenStudio* para a caracterização dos materiais que compõem a edificação, as características de pessoas, iluminação e equipamentos bem como a localização em que se encontra a unidade habitacional. Por fim, exportando um arquivo para o *software EnergyPlus* que extrai as temperaturas de cada hora do ano dentro dos dois modelos construtivos, bem como para a casa de referência da Norma, onde será detalhado cada etapa a seguir.

4.2.1 Modelagem das zonas térmicas no *software Revit*

A modelagem da edificação no *software Revit* tem como objetivo a realização das zonas térmicas da envoltória em questão. Faz-se a unidade habitacional com suas dimensões exatas de como ela é realmente (Figura 10), mas com os materiais de forma genérica sem propriedades de cada material, a utilização somente para se criar os ambientes de APP (ambiente de permanência prolongada).

Figura 9 - Unidade habitacional no software Revit

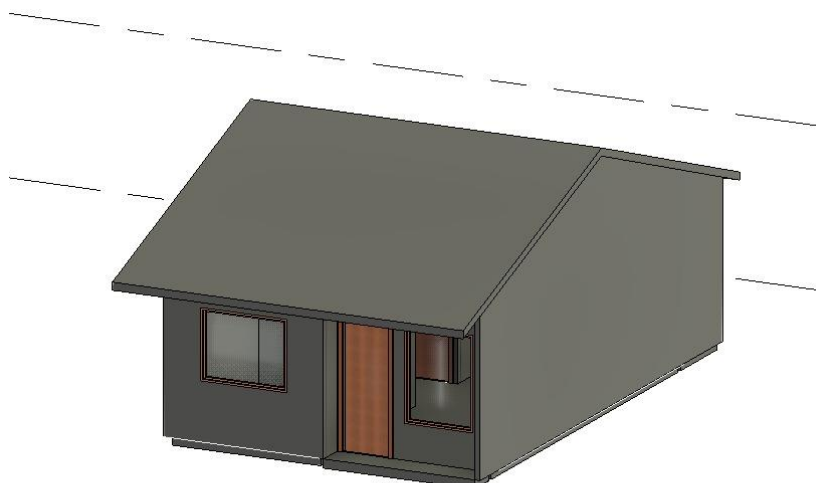


Figura: Autor (2021).

A mudança da casa real para a casa de referência, exigida pela norma para comparação, é evidenciada nas janelas da casa, pois a Norma NBR 15575 -1 relata a mudança das aberturas translúcidas, ao invés das dimensões reais a área de janelas para cada cômodo é a 17% da área do próprio ambiente. O cálculo feito da área mostra uma porcentagem de aumento ou diminuição da área real e deve-se alterar a base e altura da janela de forma proporcional (Quadro 3).

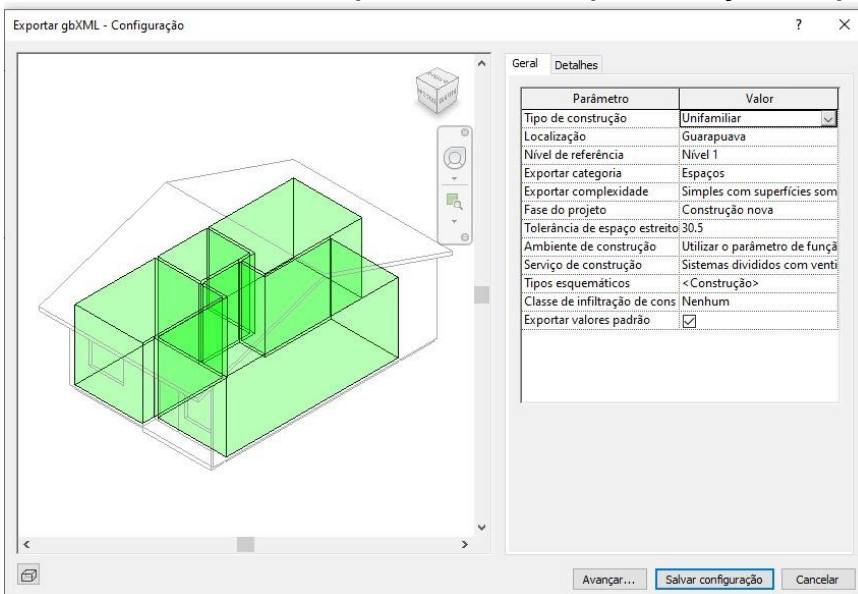
Quadro 3 - Troca de dimensões das janelas para casa de referência

	Área (m ²)	Pt,APP (m ²)	Janela Existente				Relação	Nova Janela		
			Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Base (m)		Altura (m)	Nova área (m ²)	
Dormitório 1	9,02	1,5334	1,5	1,2	1,8	1,174	1,384	1,108	1,5334	
Dormitório 2	8,03	1,3651	1,5	1,2	1,8	1,319	1,306	1,045	1,3651	
Sala/cozinha	17,07	2,9019								
Janela cozinha	4,94	0,8398	0,65	1,2	0,78	0,929	0,674	1,245	0,8398	
janela sala	12,2	2,074	1,2	1,6	1,92	0,926	1,247	1,663	2,074	

Fonte: Autor (2021).

Com todas as mudanças das janelas é feito a exportação do arquivo “gbXML”, onde as zonas térmicas ficam estabelecidas em cada cômodo da edificação (Figura 11), de mesma maneira é feita a exportação para casa real e é esse arquivo usado para definir os espaços no *software OpenStudio* continuação da simulação.

Figura 10 - Unidade habitacional exportado em zonas para utilização no *OpenStudio*



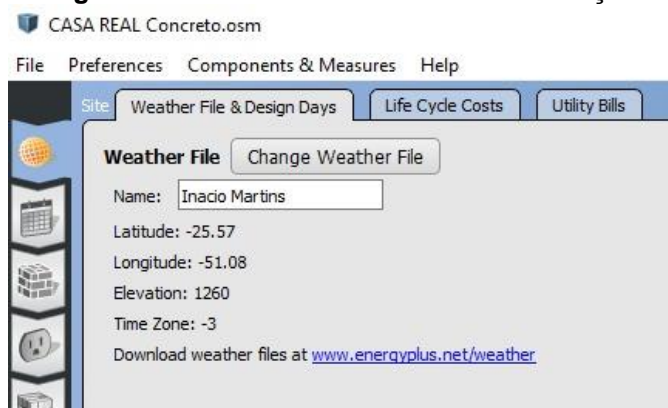
Fonte: Autor (2021).

4.2.2 Definições de propriedades no *software OpenStudio*

4.2.2.1 Georreferenciamento

Primeiramente no software OpenStudio colocamos a referência de localização da edificação, esse arquivo climático (epw) é tirado do banco de dados disponibilizado no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), porém a cidade da análise em questão não existe, mas a Norma nos permite usar uma cidade próxima com mesmas características, neste caso foi utilizado a cidade de Inácio Martins (Figura 12), de mesma zona bioclimática.

Figura 11 - Georreferenciamento da edificação



Fonte: Autor (2021).

4.2.2.2 Criação dos ambientes

Segunda etapa é a criação das APP com suas características de ocupação de pessoas, porcentagem de iluminação e equipamentos, pois todos esses componentes do sistema trocam calor com o ambiente. A NBR 15575-1 (2021) exemplifica como deve ser o cronograma de permanência dos ambientes e como os equipamentos e luzes devem ser ligadas ou como se comportam (Quadro 4).

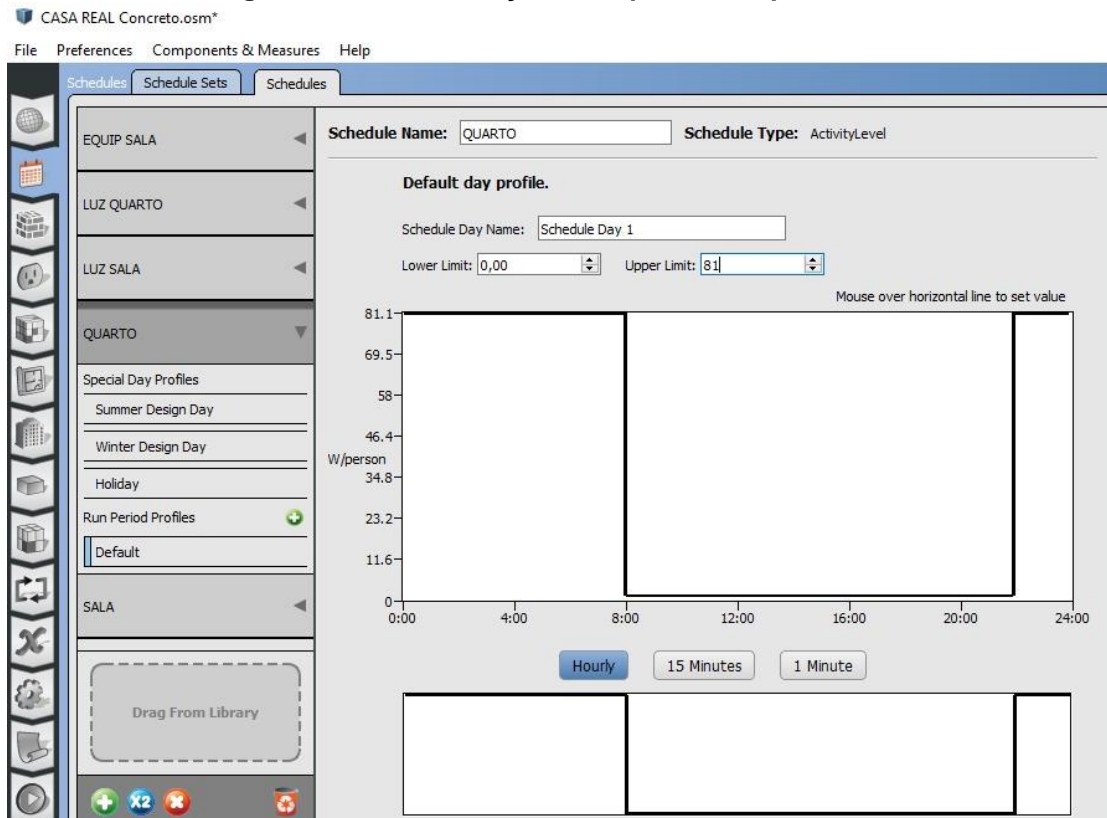
Quadro 4 - Porcentagem de ocupação e iluminação durante as horas do dia na APP

Horario	Ocupação Pessoas		Iluminação	
	Domitório %	Sala %	Domitório%	Sala %
00:00 - 00:59	100	0	0	0
01:00 - 01:59	100	0	0	0
02:00 - 02:59	100	0	0	0
03:00 - 03:59	100	0	0	0
04:00 - 04:59	100	0	0	0
05:00 - 05:59	100	0	0	0
06:00 - 06:59	100	0	100	0
07:00 - 07:59	100	0	100	0
08:00 - 08:59	0	0	0	0
09:00 - 09:59	0	0	0	0
10:00 - 10:59	0	0	0	0
11:00 - 11:59	0	0	0	0
12:00 - 12:59	0	0	0	0
13:00 - 13:59	0	50	0	0
14:00 - 14:59	0	50	0	0
15:00 - 15:59	0	50	0	0
16:00 - 16:59	0	50	0	100
17:00 - 17:59	0	100	0	100
18:00 - 18:59	0	100	0	100
19:00 - 19:59	0	100	0	100
20:00 - 20:59	0	100	0	100
21:00 - 21:59	0	100	0	100
22:00 - 22:59	100	0	100	0
23:00 - 23:59	100	0	100	0

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021).

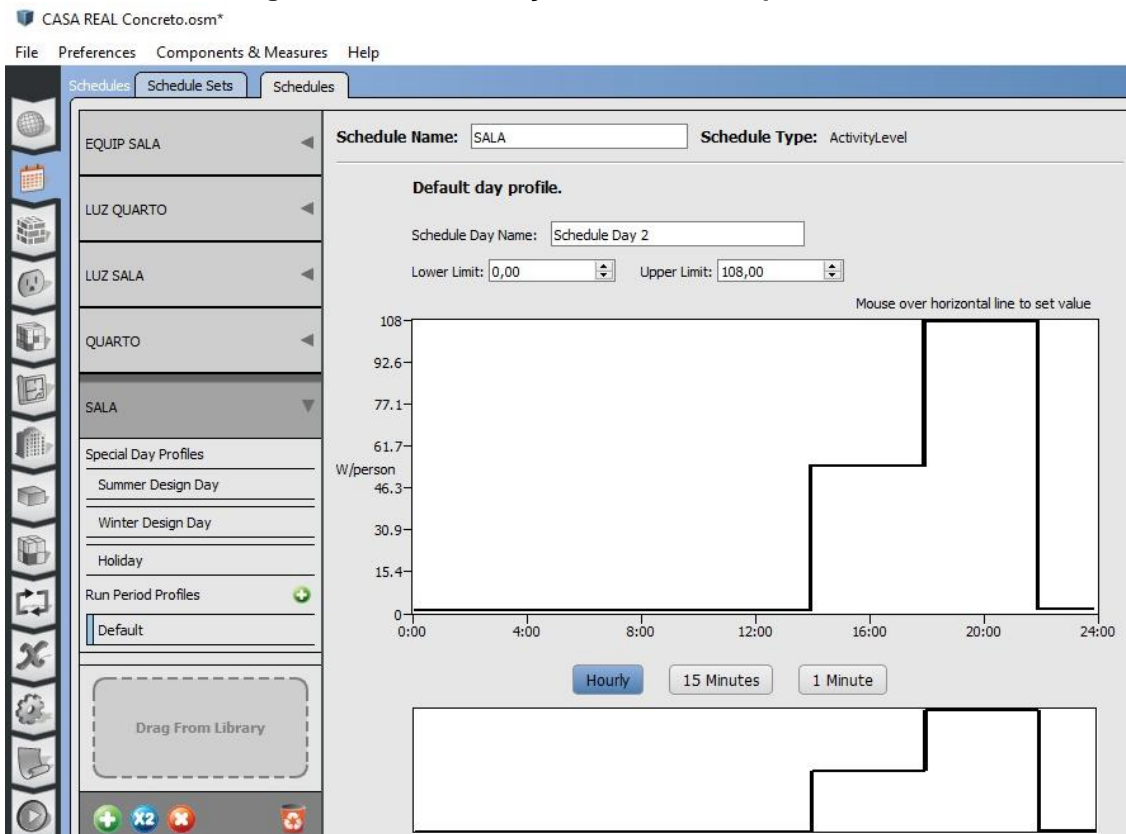
Além de a porcentagem de ocupação é preciso colocar o calor produzido por uma pessoa (W) e a fração radiante, que segundo a norma para dormitórios uma pessoa produz 81 W em cada hora e na sala 108 W e nos dois ambientes uma fração radiante de 0,3 (Figura 13 e 14).

Figura 12 - Caracterização APP quarto no *OpenStudio*



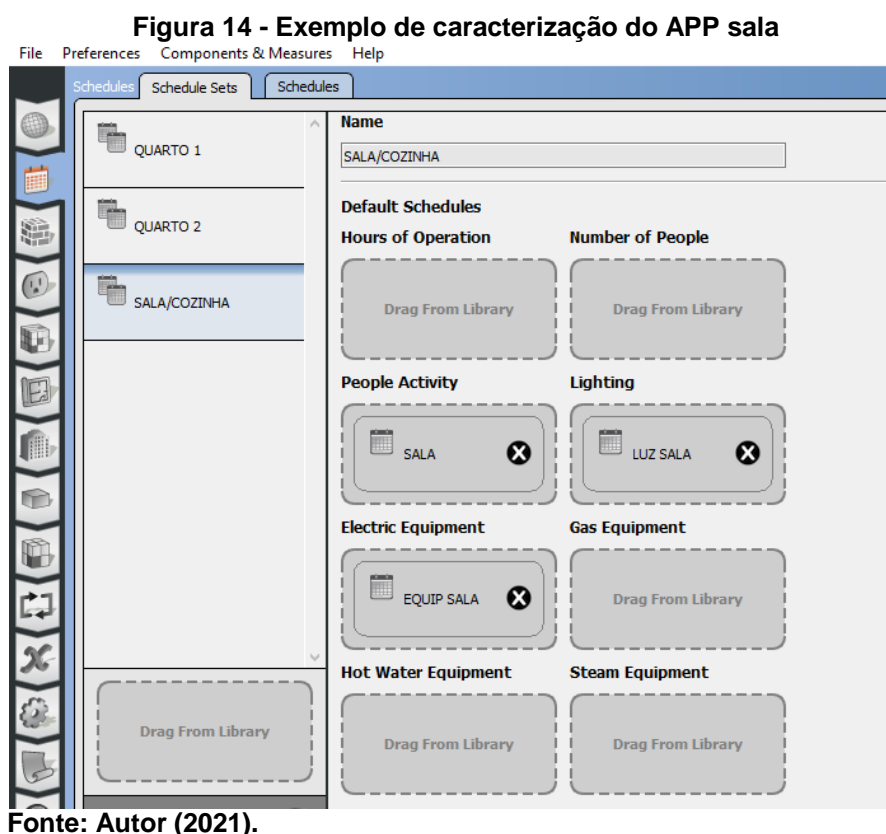
Fonte: Autor (2021).

Figura 13 - Caracterização APP sala no *OpenStudio*



Fonte: Autor (2021).

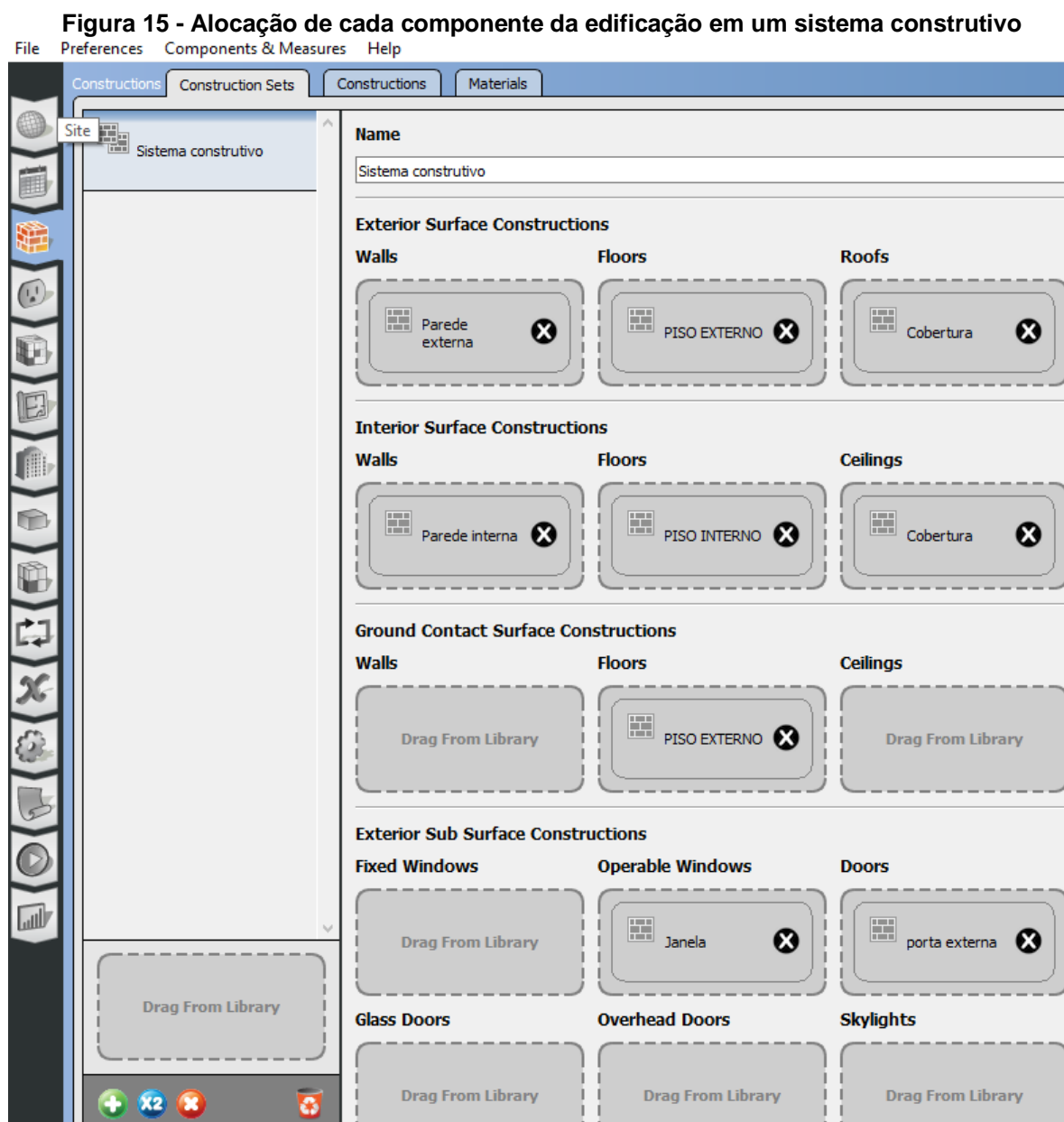
Com características semelhantes é feita a porcentagem de iluminação por hora do dia em cada ambiente e equipamentos. Posteriormente configuradas essas características finalmente montam-se os ambientes com suas respectivas iluminações e equipamentos (Figura 15).



4.2.2.3 Formação do Sistema construtivo

As propriedades dos materiais é a próxima etapa a ser feita no *software*, cada material (bloco, telha, revestimento, etc) precisa ser descrito com suas características de calor específico, transmitância térmica, densidade aparente, absorvância e emissividade. Após fixar as propriedades é feita a composição de cada componente da edificação (paredes, cobertura, piso, etc) com os materiais já catalogados, depois de feito cada componente da casa anexa tudo ao sistema construtivo cada componente em seu respectivo local (Figura 16). Isso é feito tanto para casa real em concreto moldado *in loco*, como para a casa de alvenaria bem como a casa de referência, aonde as propriedades dos materiais usados são retiradas das tabelas B1, B2 e B3 da NBR 15220-2 (2003) (Apêndice 1, 2 e 3) e os

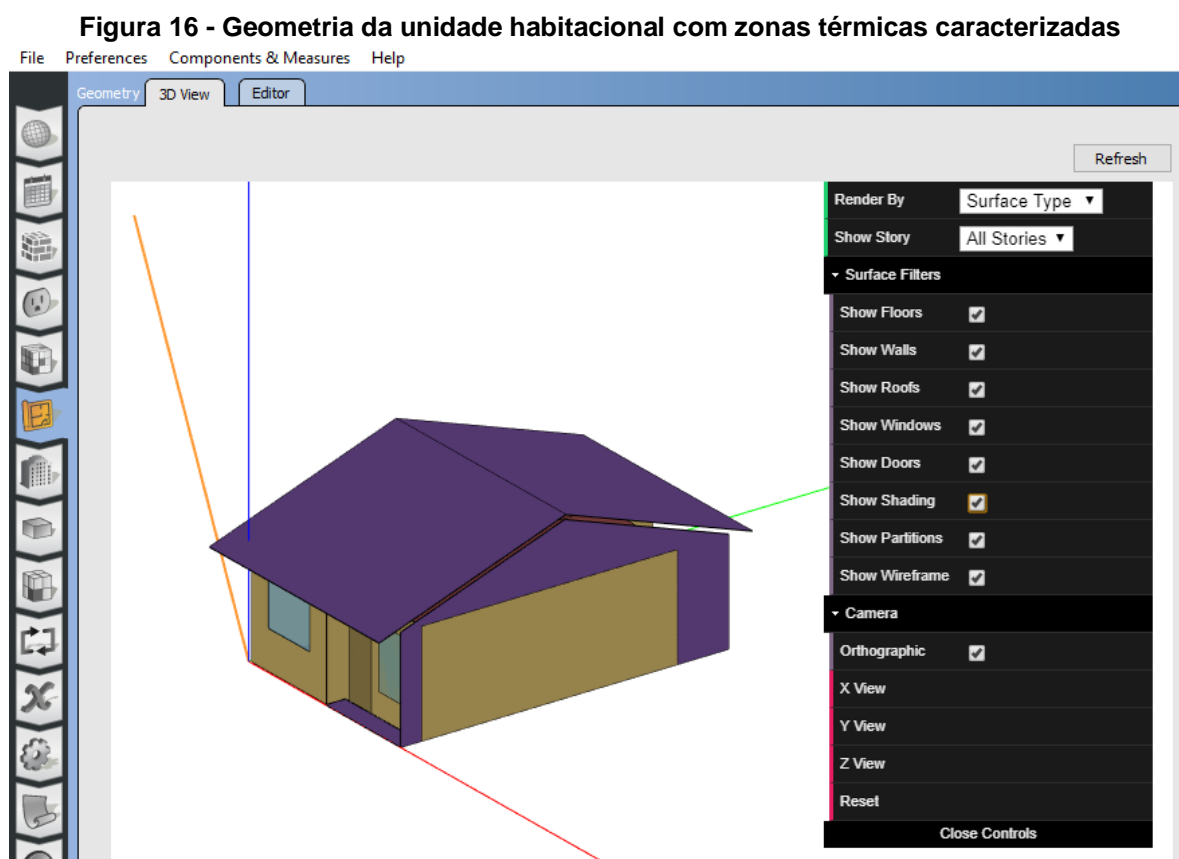
materiais da casa de referência são dadas pela tabela 7 e 8 da norma NBR 15575 -1 (2021) (Anexo2).



Fonte: Autor (2021).

As próximas características a serem implantadas na unidade habitacional é o número de pessoas por APP em que a norma estabelece duas pessoas em cada dormitório e na sala duas pessoas para cada dormitório da casa, que nessa análise em questão ficam quatro pessoas. As especificações de iluminação tanto para sala como para quartos a densidade de potência instalada e de cinco watts por metro quadrado, fração radiante de 0,32 e fração visível de 0,23, já o equipamento da sala a norma relata de ser uma potência de 120 W e fração radiante 0,3.

A importação do arquivo do *software Revit* serve para verificação e caracterização das zonas térmicas dentro do programa (Figura 17), por fim é colocada a inclinação da unidade habitacional quanto ao norte geográfico que nesse caso 60°.

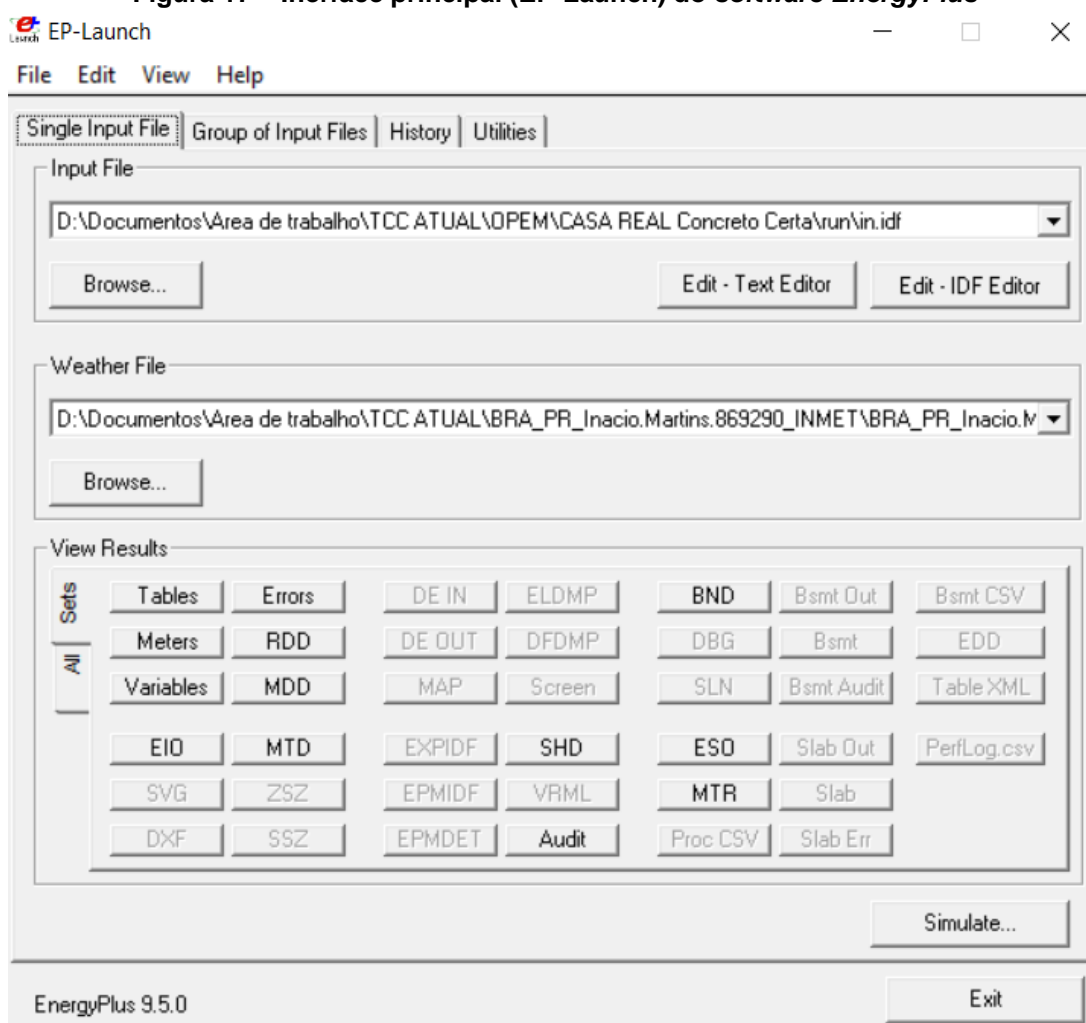


Fonte: Autor (2021).

4.2.3 Simulação dos modelos no *software EnergyPlus*

A simulação no programa *EnergyPlus* é realizada através de uma interface principal (EP-Launch), onde a primeira característica a ser colocada é a base de dados climáticos da cidade. Nessa mesma interface serão extraídos os resultados (Figura 18). A entrada de dados para a construção e modelagem da edificação são realizadas na interface de edição do programa (Edit - IDF Editor) ou através do editor de texto (Edit - Text Editor).

Figura 17 – Interface principal (EP-Launch) do software *EnergyPlus*



Fonte: Autor (2021).

O IDF Editor é um editor que utiliza o dicionário de dados do *EnergyPlus* (IDD) e permite a criação/revisão de arquivos de entrada *EnergyPlus* (IDF) de uma forma razoavelmente simples. No arquivo “.idf” exportado do *OpenStudio* ficaram armazenados todos os dados de entrada da edificação, como as propriedades já descritas bem como parâmetros de simulação, localização e clima, elementos de construção das superfícies, ganhos internos, entre outras.

Mesmo com o arquivo sendo importado com propriedades já estabelecidas algumas características devem ser reafirmadas no IDF Editor, como número de pessoas e suas respectivas APP o lançamento no software podemos ver na Figura 19.

Figura 18 – Propriedades de ocupação no software *EnergyPlus*

The screenshot shows the EnergyPlus IDF Editor window. The title bar indicates the file path: D:\Documentos\Área de trabalho\TCC ATUAL\OPEM\CASA REAL Concreto Certa\run\in.idf. The menu bar includes File, Edit, View, Jump, Window, and Help. The toolbar contains icons for New Obj, Dup Obj, Dup Obj + Chg, Del Obj, Copy Obj, and Paste Obj.

The main interface is divided into several sections:

- Class List:** A list of object classes with 'People' selected. Other visible classes include RoomAir:Node:AirflowNetwork:AdjacentSurfaceList, RoomAir:Node:AirflowNetwork:InternalGains, RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment, RoomAirSettings:AirflowNetwork, Internal Gains, ComfortViewFactorAngles, Lights, ElectricEquipment, GasEquipment, HotWaterEquipment, SteamEquipment, OtherEquipment, ElectricEquipment:ITE:AirCooled, ZoneBaseboard:OutdoorTemperatureControlled, and SwimmingPool:Indoor.
- Comments from IDF:** A text area for comments.
- Explanation of Object and Current Field:**
 - Object Description:** Sets internal gains and contaminant rates for occupancy. If you use a ZoneList in the Zone or ZoneList name field then this applies to all the zones in the ZoneList.
 - Field Description:** ID: A1. Enter a alphanumeric value.
- Table:** A table showing the properties of the 'People' object for three different zones (Obj1, Obj2, Obj3).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Pessoas 1	Pessoas 2	Pessoas 3
Zone or ZoneList Name		QUARTO 1	QUARTO 2	SALA
Number of People Schedule Name		Always On Discrete	Always On Discrete	Always On Discrete
Number of People Calculation Method		People	People	People
Number of People		2	2	4
People per Zone Floor Area	person/m2			
Zone Floor Area per Person	m2/person			
Fraction Radiant		0,3	0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		QUARTO	QUARTO	SALA
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0,0000000382	0,0000000382	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name				
Work Efficiency Schedule Name				
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc	ClothingInsulationSc
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name				
Clothing Insulation Schedule Name				

Fonte: Autor (2021).

As características da iluminação e equipamentos nos ambientes também é evidenciado na categoria *light* e *ElectricEquipment* respectivamente, onde para as luzes de todos os ambientes são colocados uma potência de 100 W e para equipamentos uma potência de 120 W (Figuras 20 e 21).

Figura 19 - Propriedades de iluminação no software EnergyPlus

Class List

- [.....] RoomAir:Node
- [.....] RoomAirSettings:OneNodeDisplacementVentilation
- [.....] RoomAirSettings:ThreeNodeDisplacementVentilation
- [.....] RoomAirSettings:CrossVentilation
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionInterior
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionExterior
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:AdjacentSurfaceList
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:InternalGains
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment
- [.....] RoomAirSettings:AirflowNetwork

Internal Gains

- [0003] People
- [.....] ComfortViewFactorAngles
- [0003] Lights
- [0001] ElectricEquipment

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for lights in the zone. If a ZoneList, SpaceList, or a Zone comprised of more than one Space then this definition applies to all applicable spaces, and each instance be named with the Space Name plus this Object Name.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		LUZ	Luz 2	Luz 3
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
Schedule Name		LUZ SALA	LUZ QUARTO	LUZ QUARTO
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	100	100	100
Watts per Zone Floor Area	W/m2			
Watts per Person	W/person			
Return Air Fraction				
Fraction Radiant				
Fraction Visible				
Fraction Replaceable		1	1	1
End-Use Subcategory		General	General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient				
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coefficient	1/K			
Return Air Heat Gain Node Name				
Exhaust Air Heat Gain Node Name				

Fonte: Autor (2021).

Figura 20 - Propriedades de equipamentos no software EnergyPlus

Class List

- [.....] RoomAir:Node
- [.....] RoomAirSettings:OneNodeDisplacementVentilation
- [.....] RoomAirSettings:ThreeNodeDisplacementVentilation
- [.....] RoomAirSettings:CrossVentilation
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionInterior
- [.....] RoomAirSettings:UnderFloorAirDistributionExterior
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:AdjacentSurfaceList
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:InternalGains
- [.....] RoomAir:Node:AirflowNetwork:HVACEquipment
- [.....] RoomAirSettings:AirflowNetwork

Internal Gains

- [0003] People
- [.....] ComfortViewFactorAngles
- [0003] Lights
- [0001] ElectricEquipment

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Sets internal gains for lights in the zone. If a ZoneList, SpaceList, or a Zone comprised of more than one Space then this definition applies to all applicable spaces, and each instance be named with the Space Name plus this Object Name.

Field Description:
ID: A1

Field	Units	Obj1
Name		Equip sala
Zone or ZoneList or Space or SpaceList Name		SALA
Schedule Name		EQUIP SALA
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	120
Watts per Zone Floor Area	W/m2	
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		
Fraction Radiant		
Fraction Lost		
End-Use Subcategory		General

Fonte: Autor (2021).

Outros parâmetros estabelecidos em norma devem ser inseridos no programa para validação dos resultados. A NBR 15575-1 (2021), para ventilação natural exige algumas propriedades de portas e janelas (Quadro 5) para isso lançamos no programa na etapa de “*AirflowNetwork: MultiZone:Component: SimpleOpening*” (Figura 22).

Quadro 5 - Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nas APP

Parâmetros	Portas	Janelas
Coefficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada kg/(s.m)	0,002 4	0,000 63
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coefficiente de descarga (C_d) da abertura (adimensional)	0,60	0,60

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021).

Figura 21 – Propriedades quanto ventilação natural para portas e janelas no *EnergyPlus*

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The class list on the left includes the following items:

- [-----] ZoneThermalChimney
- AirflowNetwork
- [-----] AirflowNetwork:SimulationControl
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Zone
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Surface
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:ReferenceCrackConditions
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Surface:Crack
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Surface:EffectiveLeakageArea
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening
- [0002] AirflowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening**
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Component:HorizontalOpening
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:Component:ZoneExhaustFan
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray
- [-----] AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues
- [-----] AirflowNetwork:ZoneControl:PressureController

The comments field on the right contains the following text:

Explanation of Object and Current Field

Object Description: This object specifies the p
glass door heat transfer subsurfaces) when th

Field Description: Enter a unique name for thi
ID: A1
Enter a alphanumeric value
This field is required.

The table at the bottom shows the following data:

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Janelas	Portas
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0,00063	0,0024
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,6	0,59
Minimum Density Difference for Two-Way Flow	kg/m3	0,0001	0,0001
Discharge Coefficient	dimensionless	0,6	0,6

Fonte: Autor (2021).

Quanto a propriedade de um percentual de abertura para ventilação natural para o modelo de referencia a norma exige 7,65 % das áreas do piso que equivalem a 45% (Quadro 6) e no programa lançamos na etapa de “*AirflowNetwork: OccupantVentilationControl*” (Figura 23).

Quadro 6 - Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$) %
Abertura para ventilação	7,65

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2021).

Figura 22 - Propriedades quanto ventilação nas esquadrias para modelo de referência no EnergyPlus

The screenshot displays the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left shows the following objects:

- [-----] AirflowNetwork:ZoneControl:PressureController
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Node
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:Leak
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:LeakageRatio
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:Duct
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:Fan
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:Coil
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:HeatExchanger
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:TerminalUnit
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:ConstantPressureDr
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:OutdoorAirFlow
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Component:ReliefAirFlow
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:Linkage
- [-----] AirflowNetwork:Distribution:DuctViewFactors
- [0001] AirflowNetwork:OccupantVentilationControl
- [-----] AirflowNetwork:IntraZone:Node
- [-----] AirflowNetwork:IntraZone:Linkage

The 'Field' table at the bottom shows the following properties:

Field	Units	Obj1
Name		Ar
Minimum Opening Time	minutes	
Minimum Closing Time	minutes	
Thermal Comfort Low Temperature Curve Name		
Thermal Comfort Temperature Boundary Point	C	10
Thermal Comfort High Temperature Curve Name		
Maximum Threshold for Persons Dissatisfied PPD	percent	45
Occupancy Check		No
Opening Probability Schedule Name		
Closing Probability Schedule Name		

Fonte: Autor (2021).

Após todas as propriedades estabelecidas a verificação é feita e os resultados adquiridos são todas temperaturas em cada hora do ano para duas respectivas áreas de permanência prolongada.

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos com base na simulação com o software EnergyPlus. Foram feitas três simulações, portanto serão apresentados os três resultados e posteriormente feita a verificação quanto os critérios da norma NBR 15575-1 (2021). As análises realizadas foram feitas baseadas na carga térmica para ventilação natural.

Antes mesmo de iniciar os dados de simulação computacional é necessário a verificação de qual intervalo (1, 2 ou 3) de faixa de temperatura operativa a ser considerada. Para a definição desse intervalo precisamos a média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS_m) da cidade em que estamos analisando e o resultado dessa média é $16,3^\circ\text{C}$, portanto segundo a norma NBR 15575 -1 (2021) o intervalo a ser considerado é o número 1.

5.1 Dados de saída da simulação computacional

Para cada variável APP os dados de saída das temperaturas devem ser a cada hora, assim em um ano a ser analisado teremos um total de 8760 horas. Considerando que para APP temos um período definido, para quartos das 22 horas da noite até as 8 horas da manhã e para sala das 13 horas do dia até as 21 horas da noite o número de horas ocupado (Nh_{Ocup}) é equivalente a 3650 horas e para sala 2920 horas.

O cálculo para a primeira análise da norma é o percentual de horas de ocupação do APP dentro da faixa operativa, expresso em porcentagem (%) ($PHFT_{APP}$):

$$PHFT_{APP} = \frac{Nh_{FT}}{Nh_{Ocup}} \cdot 100$$

Onde o Nh_{FT} é o número de horas em que o APP se encontra ocupado e com temperaturas operativas dentro do intervalo 1, ou seja, quantidade de horas que a temperatura está entre os 18°C e 26°C .

A referida norma exemplifica que para analisar os critérios é necessário identificar a temperatura operativa máxima e temperatura operativa mínima em cada uma APP chamando de $Tomáx_{APP}$ e $Tomín_{APP}$.

5.2 Resultados alcançados com a casa de alvenaria

Para a identificação dos resultados da simulação da casa com paredes externas e internas em alvenaria argamassada, percentual de horas de ocupação chamaremos de $PHFT_{UH,Alvenaria}$ é a média das $PHFT_{APP}$ da casa de alvenaria. Assim como o $Tomáx_{UH}$ e a $Tomín_{UH}$ é a temperatura máxima entre as APP e a temperatura mínima entre as APP respectivamente.

Obtivemos então o resultado de cada APP do percentual de horas de ocupação bem como as temperaturas máximas e mínimas:

Quadro 7 – Valores encontrados para APP quarto 1 modelo alvenaria

QUARTO 1 CASA ALVENARIA TOTAL DE HORAS APP 3650	
Tomín,APP	12,9°C
Tomáx,APP	24,21°C
NhOcup	2904
PHFT,APP,Alvenaria	79,56%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 8 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo alvenaria

QUARTO 2 CASA ALVENARIA TOTAL DE HORAS APP 3650	
Tomín,APP	13,1°C
Tomáx,APP	24,1°C
NhOcup	2955
PHFT,APP,Alvenaria	80,96%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9 - Valores encontrados para APP sala modelo alvenaria

SALA CASA ALVENARIA TOTAL DE HORAS APP 2920	
Tomín,APP	13°C
Tomáx,APP	24,1°C
NhOcup	2307
PHFT,APP,Alvenaria	79,0%

Fonte: Autor (2021).

Resultado das médias das $PHFT_{APP,Alvenaria}$, temperatura máxima e temperatura mínima:

Quadro 10 – Resultados obtidos para Unidade Habitacional em parede de alvenaria

Resultados para a a Unidade Habitacional	
T_{min,UH}	12,9°C
T_{máx,UH}	24,2°C
PHFT,UH,Alvenaria	79,84%

Fonte: Autor (2021).

5.3 Resultados alcançados com a casa em concreto armado

Para a identificação dos resultados da simulação da casa com paredes de concreto moldado *in loco*, percentual de horas de ocupação chamaremos de $PHFT_{UH,Concreto}$ é a média das $PHFT_{APP}$ da casa de concreto. Assim como o $T_{máx,UH}$ e a $T_{mín,UH}$ é a temperatura máxima entre as APP e a temperatura mínima entre as APP respectivamente.

Obtivemos então o resultado de cada APP do percentual de horas de ocupação bem como as temperaturas máximas e mínimas:

Quadro 11 - Valores encontrados para APP quarto 1 modelo concreto

QUARTO 1 CASA CONCRETO TOTAL DE HORAS APP 3650	
T_{min,APP}	11,7°C
T_{máx,APP}	24,5°C
NhOcup	2662
PHFT,APP,Concreto	72,9%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 12 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo concreto

QUARTO 2 CASA CONCRETO TOTAL DE HORAS APP 3650	
T_{min,APP}	11,9°C
T_{máx,APP}	24,5°C
NhOcup	2728
PHFT,APP,Concreto	74,74%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 13 - Valores encontrados para APP sala modelo concreto

SALA CASA CONCRETO TOTAL DE HORAS APP 2920	
T_{min,APP}	11,7°C
T_{máx,APP}	25,2°C
NhOcup	2389
PHFT,APP,Concreto	81,8%

Fonte: Autor (2021)..

Resultado das médias das $PHFT_{APP,Concreto}$, temperatura máxima e temperatura mínima:

Quadro 14 - Resultados obtidos para Unidade Habitacional em parede de concreto

Resultados para a a Unidade Habitacional	
T_{min,UH}	11,7°C
T_{máx,UH}	25,2°C
PHFT,UH,Concreto	76,50%

Fonte: Autor (2021).

5.4 Resultados alcançados com a casa de referência

Para a identificação dos resultados da simulação da casa de referência da norma o percentual de horas de ocupação chamaremos de $PHFT_{UH,Ref}$ é a média das $PHFT_{APP}$ da casa de referência. Assim como o $T_{máx,UH}$ e a $T_{mín,UH}$ é a temperatura máxima entre as APP e a temperatura mínima entre as APP respectivamente.

Obtivemos então o resultado de cada APP do percentual de horas de ocupação bem como as temperaturas máximas e mínimas:

Quadro 15 - Valores encontrados para APP quarto 1 modelo referência

QUARTO 1 REFERENCIA TOTAL DE HORAS APP 3650	
T_{min,APP}	11,4°C
T_{máx,APP}	24,4°C
NhOcup	2305
PHFT,APP,Ref	63,15%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 16 - Valores encontrados para APP quarto 2 modelo referência

QUARTO 1 REFERENCIA TOTAL DE HORAS APP 3650	
T_{min,APP}	11,5°C
T_{máx,APP}	24,6°C
NhOcup	2323
PHFT,APP,Ref	63,64%

Fonte: Autor (2021).

Quadro 17 - Valores encontrados para APP sala modelo referência

SALA REFERENCIA TOTAL DE HORAS APP 2920	
Tomin,APP	11,7°C
Tomáx,APP	24,9°C
NhOcup	2358
PHFT,APP,Ref	80,75%

Fonte: Autor (2021).

Resultado das médias das $PHFT_{APP,Ref}$, temperatura máxima e temperatura mínima:

Quadro 18 - Resultados obtidos para Unidade Habitacional modelo de referência

Resultados para a a Unidade Habitacional referência	
Tomin,UH	11,4°C
Tomáx,UH	24,9°C
PHFT,UH,Ref	69,2%

Fonte: Autor (2021).

5.5 Avaliação quanto aos critérios estabelecidos em norma

5.5.1 Critério de percentual de horas de ocupação

Com resultados obtidos separadamente chegamos à etapa de avaliação quanto aos critérios exigidos pela norma, quanto ao critério de $PHFT_{UH}$ no nível mínimo (M), “[...] o modelo real de simulação computacional deve apresentar, ao longo de um ano e durante os períodos de ocupação dos APP, $PHFT_{UH,Real}$ que seja superior a 90 % do obtido para o modelo de referência ($PHFT_{UH,ref}$).” (NBR 15575-1, 2021). Alcançamos então resultados satisfatórios para ambos os modelos construtivos (Quadro 19).

Quadro 19 – Critério de percentual de horas de ocupação

Critério de percentual de horas de ocupação	
PHFT, UH, Ref	69,2%
PHFT, UH, Concreto	76,5%
PHFT, UH, Alvenaria	79,8%
90% de PHFT, UH, Ref	62,3%
PHFTUH,Concreto > 0,9.PHFTUH,ref	Atende ao nível mínimo

Fonte: Autor (2021).

5.5.2 Critério para Temperatura operativa máxima e mínima

A análise quanto ao desempenho térmico no nível mínimo considera temperatura operativa máxima anual ($Tomáx_{UH}$) e temperatura operativa mínima anual ($Tomín_{UH}$) dentro da unidade habitacional. A obtenção do valor da máxima e da mínima é o maior e o menor dos valores obtidos temperaturas operativas em cada APP respectivamente. O critério de avaliação se da:

- $Tomáx_{UH,REAL} \leq Tomáx_{UH,REF} + 2^{\circ}C$
- $Tomín_{UH,REAL} \geq Tomín_{UH,REF} - 1^{\circ}C$

Considerando primeiramente a casa com vedações verticais de alvenaria argamassada foram encontrados resultados satisfatórios:

Quadro 20 – Critério quanto a temperatura operativa máxima casa alvenaria

Casa Alvenaria Tomáx,UH	
Adotando os maiores valores de Tomáx,APP	
Tomáx entre as APP(Real)= Tomáx,UH (Real)	24,2°C
Tomáx entre as APP (Ref)= Tomáx,UH (Ref)	24,9°C
TomáxUH,ref + 2°C	26,9°C
TomáxUH, real ≤ TomáxUH,ref + 2°C	Atende ao nível mínimo

Fonte: Autor (2021).

Quadro 21 - Critério quanto a temperatura operativa mínima casa alvenaria

Casa Alvenaria Tomín,UH	
Adotando os menores valores de Tomín,APP	
Tomín entre as APP(Real)= Tomín,UH (Real)	12,9°C
Tomín entre as APP (Ref)= Tomín,UH (Ref)	11,4°C
TomínUH,ref - 1°C	10,4°C
TomínUH,real ≥ TomínUH,ref - 1°C	Atende ao nível mínimo

Fonte: Autor (2021).

Considerando a casa com vedações verticais externas de concreto moldado *in loco* foram obtidos resultados também satisfatórios:

Quadro 22 - Critério quanto a temperatura operativa máxima casa concreto

Casa Concreto Tomáx,UH	
Adotando os maiores valores de Tomáx,APP	
Tomáx entre as APP(Real)= Tomáx,UH (Real)	25,2°C
Tomáx entre as APP (Ref)= Tomáx,UH (Ref)	24,9°C
TomáxUH,ref + 2°C	26,9°C
TomáxUH, real ≤ TomáxUH,ref + 2°C	Atende ao nível mínimo

Fonte: Autor (2021).

Quadro 23 - Critério quanto a temperatura operativa mínima casa concreto

Casa Concreto Tomín,UH	
Adotando os menores valores de Tomín,APP	
Tomín entre as APP(Real)= Tomín,UH (Real)	11,7°C
Tomín entre as APP (Ref)= Tomín,UH (Ref)	11,4°C
TomminUH,ref -1°C	10,4°C
TomínUH,real ≥ TomínUH,ref -1°C	Atende ao nível mínimo

Fonte: Autor (2021).

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve o objetivo exemplificar os desempenhos térmicos, com auxílio computacional, das vedações verticais externas de diferentes materiais dentro de uma zona bioclimática considerada a mais fria, evidenciando resultados satisfatórios perante a norma mais recente de desempenho térmico do Brasil.

Através dos resultados podemos evidenciar e comparar os dois modelos onde o modelo de blocos cerâmicos com revestimento argamassado teve um comportamento relativamente melhor em comparação ao de concreto moldado *in loco* com as características aqui apresentadas, pois, o concreto armado *in loco* mostrou-se com menor temperatura operativa em relações as mínimas (Tomín) e no período de inverno e mostrou-se com maior temperatura operativa entre as máximas (Tomáx) no período de verão, evidenciando que o material composto por agregados miúdos e graúdos mais aglomerante tem uma amplitude térmica maior que a alvenaria argamassada.

A capacidade de conduzir calor de uma face de parede até a outra é chamada de transmitância térmica e isso explica o fato de o concreto ter um desempenho pior que outro modelo apresentado, pois sua transmitância térmica é de fato maior que o de blocos cerâmicos sendo de $4,19 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para concreto e de $2,61 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, evidenciando que a condutividade do calor é mais facilitada, por assim dizer, no concreto, mas o concreto tem uma capacidade térmica melhor que os blocos cerâmicos com revestimentos argamassados, ou seja, a quantidade de calor tem que ser maior para a mudança de temperatura, então talvez em cidades em que a temperatura varia muito pode ser que o concreto tenha um melhor desempenho.

Com os resultados dos dois métodos construtivos correspondendo de forma positiva atendendo ao nível mínimo perante a norma fica a critério da construtora ou do cliente qual modelo adotar ou até mesmo de fazer outros comparativos como orçamentários, acústicos, sustentabilidade ou de viabilidade energética.

Por fim, essa pesquisa se restringiu ao critério de nível mínimo da Norma NBR 15575-1 (2021), mas podem ser ainda analisados os dois modelos construtivos perante aos critérios intermediário e superior que tratam-se de cálculos envolvendo carga térmica total da unidade habitacional ($C_{gTT_{UH}}$) sem o uso de ventilação natural, nos períodos em que os ambientes de permanência prolongada estiverem

ocupados com temperatura operativas dentro dos limites delimitado na norma e também para sugestão de futuros trabalhos uma análise em diferentes zonas bioclimáticas.

REFERÊNCIAS

- ACKER, A. V. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. FIB. [S.I.]. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 29. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, p. 22. 2021.
- BASTOS, P. S. D. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Estruturas de Concreto I, Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campos de Bauru. São Paulo. 2019.
- BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para Universitários**. [S.I.]: AMGH , 2012.
- COELHO, D. F. B.; CRUZ, V. H. D. N. **Edifícios Inteligentes: uma visão das tecnologias aplicadas**. São Paulo: Edgard Bluncher, 2017.
- CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan Ltda, 2003.
- DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina CTC - Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis. 2016.
- EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado fundamentos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- ENERGYPLUS. **Energyplus**, 2020. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 05 Outubro 2020.
- JOANA.C.S.GONÇALVES, J.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, dez 2006. 51-81.
- MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de Estruturas de Concreto armado em Edifícios**. PROJETO EPUSP/SENAI. São Paulo, p. 02,04. 1998.
- MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir Paredes de concreto. **Téchne**, n. 147, p. 74-80, Junho 2009.
- NOVO, M. M. M. et al. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade, São Paulo, 2014. 22-33.

SALGADO, J. C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificação**. 4^a. ed. São Paulo: Érica, 2018.

SARBU, I. Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. **Energy and Buildings**, Timisoara, 11 February 2013. 410 - 419.

ANEXO 1

Tabela B.1 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura.

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		⇨	⇑	⇓
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16 EX.2	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21 EX.5
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:
 1 ε é a emissividade hemisférica total.
 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: ABNT NBR 15220, 2005.

ANEXO 2

Tabela B.2 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície		α	ϵ
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: ABNT NBR 15220, 2005.

ANEXO 3

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais (continua)

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
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
Cerâmica			
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
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais (continua)

Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais (continua)

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT NBR 15220, 2005.