



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Beatriz Mapa Clemente

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO
EM WOOD FRAME NO BRASIL**

Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil
Julho 2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Beatriz Mapa Clemente

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME NO BRASIL

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Conforto Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza -
DEMEC/PROPEM/PROPEC/EM/UFOP

Coorientador: MSc. Lucas Fonseca Caetano
PROPEC/EM/UFOP

Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil

Julho 2019

C626a Clemente, Beatriz Mapa.
Avaliação de desempenho térmico de edificações em Wood Frame no Brasil
[manuscrito] / Beatriz Mapa Clemente. - 2019.

71f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza .
Coorientador: Prof. MSc. Lucas Fonseca Caetano .

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Edificações - Conforto térmico. 2. Habitação popular. 3. Construção civil -
Wood Frame. I. Souza , Henor Artur de. II. Caetano , Lucas Fonseca. III.
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 624

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO EM WOOD FRAME NO BRASIL

Beatriz Mapa Clemente

Monografia de conclusão de curso
para obtenção do Grau de Engenheiro
Civil na Universidade Federal de Ouro
Preto, defendida, em 11 de Julho de
2019, para a comissão avaliadora
constituída pelos professores:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza
DEMEC/PROPEM/PROPEC/EM/UFOP



Prof. Dr. Adriano Pinto Gomes
IFMG - Campus Ouro Preto



MSc. Luma de Souza Dias
PROPEC/EM/UFOP

AGRADECIMENTOS

Ao meus pais, Almir e Geralda, por todo apoio e carinho. Obrigada por me ensinarem a nunca duvidar do meu potencial. Aos meus irmãos, Daniel, Mateus e Julia, por tornarem a vida mais leve.

A Civil 14.1, por terem feito esses 5 anos inesquecíveis e a República Querubim, por serem lar e eterna família.

A Escola de Minas e seus mestres, que contribuíram com tanto conhecimento para minha formação acadêmica. Ao laboratório NUPECON, por toda ajuda e incentivo nesses anos de graduação. Em especial, ao professor Henor, e aos amigos Lucas, Lidi e Fran.

RESUMO

O desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado a resposta global da edificação ao clima no qual está inserida. O processo de avaliação de desempenho térmico engloba as etapas de caracterização das variáveis humanas de conforto térmico, das variáveis climáticas, das variáveis arquitetônicas da edificação e da sua ocupação. Verifica-se por meio da resposta da edificação às trocas de calor entre o ambiente interno e o meio externo, se as condições ambientais são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes. Nesse sentido, a simulação computacional representa uma ferramenta importante para a modelagem do desempenho térmico e energético de uma edificação, pois por meio do comportamento dinâmico das interações térmicas pode-se avaliar antecipadamente a resposta da edificação e quais estratégias podem ser utilizadas para minimizar os problemas causadores do desconforto térmico. Neste trabalho apresenta-se um estudo de uma alternativa de fechamento para construções de padrão popular, o sistema de construção a seco *Wood Frame*, avaliando-se a partir de simulações computacionais utilizando o *EnergyPlus* se o desempenho térmico atinge os requisitos mínimos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). As simulações são feitas para os dias típicos de inverno e de verão, considerando três Zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8, previstas na norma NBR 15520 (ABNT, 2005) e seguindo as diretrizes da norma de desempenho NBR 15575. Os resultados obtidos mostram que os requisitos mínimos da norma NBR 15575 não são atendidos somente para a ZB8 no dia típico de verão. Na comparação entre os sistemas *Wood Frame* e Alvenaria em Blocos cerâmicos, verifica-se que a temperatura interna com o fechamento em *Wood Frame* resulta mais elevada comparada com aquela com o fechamento tradicional utilizando Alvenaria em Blocos cerâmicos.

Palavras-chave: Desempenho térmico de edificações, Edificação de padrão popular, *Wood Frame*.

ABSTRACT

A building's thermal performance is directly related to the global response of the building to the climate in which it is inserted. The performance evaluation process encompasses the stages of characterization of human variables of thermal comfort, climatic variables, building architectural variables and its occupation. It is verified through response of the building to the heat exchanges between the internal environment and the external environment, if the ambient conditions are satisfactory regarding the thermal comfort provided to the occupants. Thus, computational simulation is an important tool for the modeling of the thermal and energetic performance of a building, because through the dynamic behavior of the thermal interactions it is possible to evaluate in advance the response of the building and which strategies could be used to minimize the problems causing thermal discomfort. This work presents a study of a closure alternative for popular standard buildings, the dry construction system Wood Frame, evaluating from computational simulations using *EnergyPlus* if the thermal performance reaches the minimum requirements of the norm NBR 15575 (ABNT, 2013). The simulations are performed for the typical winter and summer days, considering three bioclimatic zones ZB1, ZB3 and ZB8, described in NBR 15520 (ABNT, 2005) and following the guidelines of performance standard in NBR 15575. The results show that the minimum requirements of the norm NBR 15575 are not only met for ZB8 in the typical summer day. In the comparison between the Wood Frame and Masonry systems in Ceramic Blocks, it is verified that the internal temperature with the Wood Frame closure results higher than that with the traditional closure using Masonry in Ceramic Blocks.

Key words: Building's thermal performance, popular standard buildings, Wood Frame.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objetivo	8
1.2. Metodologia.....	8
1.3. Motivação.....	8
1.4. Estrutura do trabalho.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Desempenho térmico de edificações	11
2.2. Construções em <i>Wood Frame</i>	15
2.3. Habitação de interesse social: Programa Minha Casa Minha Vida.....	21
2.4. O programa <i>EnergyPlus</i>	22
2.5. Parâmetros da simulação.....	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Condições Climáticas.....	25
3.2. Caracterização da edificação e seu perfil de ocupação	27
3.3. Caracterização e configuração dos fechamentos	28
3.3.1. Fechamento em <i>Wood Frame</i>	29
3.3.2. Fechamento em Alvenaria Convencional	31
3.4. Parâmetros utilizados na simulação.....	32
4. RESULTADOS E ANÁLISES	33
4.1. Desempenho térmico da edificação: Temperatura interna nos ambientes de permanência prolongada.....	33
4.1.1. Fechamento em <i>Wood Frame</i>	33
4.2. Análise do <i>Wood Frame</i> em relação à absorvância à radiação solar	35
4.3. Análise do <i>Wood Frame</i> em relação às taxas de renovação de ar	37
4.4. Análise do <i>Wood Frame</i> em relação aos requisitos mínimos da norma NBR 15575	39
4.4.1. Zona Bioclimática 1	39
4.4.2. Zona Bioclimática 3	41
4.4.3. Zona Bioclimática 8	42
4.5. Comparação do desempenho térmico do <i>Wood Frame</i> em relação à Alvenaria convencional	44
5. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	49
A. APÊNDICE A	52
B. APÊNDICE B	63

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma área que se moderniza constantemente a fim de melhor se adaptar ao mercado em que está inserida, por meio de novos materiais, tecnologias e técnicas de construção. Aliado a isso, diversos fatores devem ser analisados ao se projetar uma edificação, entre eles o custo, a velocidade e a facilidade de construção são indiscutivelmente importantes. Outro fator que deve receber elevada atenção é o conforto ambiental proporcionado ao usuário. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida torna-se mais confortável, além de mais viável economicamente, uma vez que economizará energia para seu futuro usuário. Logo, o desempenho térmico da construção se torna um ponto de grande relevância no projeto.

Sob a constante influência de diversas variáveis envolvidas nos processos de troca de calor e de massa entre o ambiente interno e o externo, a avaliação do desempenho térmico consiste em verificar se as condições do ambiente são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes. As edificações podem ser naturalmente ventiladas ou condicionadas mecanicamente, sendo que as características arquitetônicas e dos materiais utilizados na edificação podem produzir respostas negativas no conforto térmico dos usuários em edifícios naturalmente ventilados e no consumo de energia de edifícios mecanicamente condicionados. Com isso, um dos fatores principais para se alcançar níveis altos de eficiência energética das edificações, é a adequação da edificação ao clima local (AKUTSU, 1998; BRITO, AKUTSU, TRIBESS, 2011).

Em edifícios naturalmente ventilados e sem grandes fontes internas de geração de calor, a envoltória é a principal responsável pela demanda de carga térmica dos sistemas de climatização que irão repercutir no conforto térmico do usuário. Dessa forma, a edificação deve assegurar que seu usuário possa realizar diversas atividades com as melhores condições de conforto e segurança, utilizando a menor quantidade de energia possível (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

O conhecimento do desempenho térmico potencial da edificação se faz necessário ainda na fase do projeto, para que seja possível identificar os fatores que precisam

ser aprimorados e encontrar soluções antes da sua finalização. Nesse sentido, as ferramentas de simulação computacional do desempenho térmico e energético de edifícios podem auxiliar na tomada de decisões durante o desenvolvimento do projeto (LBNL, 2004).

O *Wood Frame*, objeto de estudo deste trabalho, é um sistema de construção a seco que apresenta isolamento térmico em sua composição visando uma baixa condutividade térmica e um melhor desempenho térmico.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de edificações de padrão social, no Brasil, naturalmente ventiladas utilizando como alternativa de fechamento o sistema a seco *Wood Frame*.

1.2. Metodologia

Por meio de simulação computacional, utilizando o *EnergyPlus* (versão 9.1), estudam-se as respostas da edificação, em relação às interações térmicas com o clima externo, considerando as zonas bioclimáticas propostas na norma de desempenho NBR 15220 (ABNT, 2005) e confrontando aos critérios e diretrizes mínimos de desempenho térmico estabelecidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Além disso, o trabalho propõe uma comparação do desempenho térmico do sistema de construção *Wood Frame* em relação a Alvenaria Convencional (Tijolos Cerâmicos furados).

1.3. Motivação

O tema escolhido para esse trabalho está relacionado à inovadora implantação do sistema de construção *Wood Frame* no Brasil. Comumente utilizado em países desenvolvidos como a Suécia, Canadá, Chile e EUA, o sistema que ainda encontra barreiras para se estabelecer no Brasil apresenta desempenho, flexibilidade e alta velocidade de construção, podendo reduzir em até 3 vezes o tempo habitual. Além disso, apresenta industrialização, possibilidade de produção em larga escala e sustentabilidade, o que torna o sistema uma ótima alternativa para construções de

padrão popular. Atualmente, essas construções vêm encontrando dificuldades com a produção e o cumprimento dos prazos de entrega das construções. Nesse sentido, este trabalho pretende verificar a eficácia do *Wood Frame* conforme as normas de desempenho das edificações, considerando a resposta de uma edificação de padrão popular.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho em questão está constituído de cinco capítulos. No capítulo 1 apresenta-se o tema proposto, o objetivo a ser alcançado, uma metodologia sucinta e a motivação por trás da escolha deste tema.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão da literatura acerca do desempenho térmico de edificações, normas e critérios brasileiros de desempenho utilizados na pesquisa, além do Zoneamento bioclimático do país. Apresenta-se, também, uma revisão da literatura do sistema de construção *Wood Frame* descrevendo sua estrutura interna, sua utilização no Brasil e no mundo, bem como suas principais características que influenciam na escolha da sua utilização como material de fechamento em edificações. Além disso, o capítulo aborda outros dois temas: o Programa Minha Casa Minha Vida e sua tipologia de construção e o programa computacional a ser utilizado no estudo, o *EnergyPlus*.

No capítulo 3 é descrita a metodologia mais detalhada do trabalho, que envolve uma abordagem computacional. Descreve-se a análise computacional realizada, a partir da determinação dos parâmetros de simulação numérica. Discute-se, também, o modelo de simulação, as condições climáticas, as exigências humanas de conforto térmico, a caracterização da edificação e os materiais de fechamento.

Dando prosseguimento ao estudo proposto é realizada, então, a simulação computacional das interações térmicas e de massa entre o meio externo e o ambiente interno e avalia-se a distribuição interna da temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes de permanência prolongada.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos na simulação computacional descrita no capítulo 3, levando em consideração os requisitos mínimos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) e uma análise comparativa do desempenho do *Wood Frame* em relação à Alvenaria de Tijolos Cerâmicos.

Por fim, são apresentadas as considerações finais e as conclusões desse estudo no capítulo 5.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta revisão da literatura, apresenta-se as normas de desempenho térmico utilizadas no estudo e o sistema construtivo *Wood Frame*, seu uso no Brasil e no mundo e suas principais características. Além disso, apresenta-se uma descrição sobre o Programa Minha Casa Minha Vida, uma vez que o protótipo deste estudo é uma tipologia do Programa, e o programa computacional a ser utilizado para as simulações computacionais, o *EnergyPlus*.

2.1. Desempenho térmico de edificações

A análise do desempenho térmico de uma edificação objetiva verificar se as condições internas proporcionam conforto térmico a seus ocupantes, considerando as condições do ambiente em edificações naturalmente ventiladas ou condicionadas mecanicamente. Essa análise examina a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos de fechamento isoladamente, além disso, visa a racionalização do consumo de energia utilizada para condicionamento dos ambientes internos, quando necessário. A resposta da edificação às trocas de calor e de massa entre o ambiente interno e o externo está associada à influência de diversas variáveis envolvidas nesse processo, tais como: as características termofísicas do sistema de fechamento e componentes de construção, os parâmetros ambientais, o tipo de atividade, o número dos ocupantes e o tipo de ocupação do ambiente (AKUTSU,1998).

Nas edificações naturalmente ventiladas deve-se verificar se os requisitos estabelecidos em função das exigências humanas de conforto térmico são atendidos pelos ambientes internos, considerando a resposta global da edificação. No caso em que a edificação é condicionada artificialmente, a verificação é feita sobre a demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar dos ambientes internos (AKUTSU,1998; VITTORINO, 2005).

Em relação a utilização da climatização artificial no Brasil observa-se que o uso de equipamentos climatizadores durante o ano todo é baixo ou até inexistente na maior parte das habitações, devendo a edificação fornecer condições satisfatórias de conforto térmico em condições naturais. A ventilação natural pode representar

importante fator de melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios, pois auxilia na renovação do ar interno bem como no processo de troca de calor e de massa por convecção, amenizando altas temperaturas internas, em localidades de climas quentes. Outro fator importante a ser considerado é o fluxo de ar, que depende do vento e, na ausência desse, dos gradientes térmicos nos diferentes ambientes da edificação, proporcionando a movimentação do ar no interior dessa. Entre as soluções utilizadas, a ventilação cruzada é uma alternativa eficiente, pois é proporcionada por aberturas em paredes opostas (ou diferentes) sob a ação do vento. A ventilação cruzada, conforme mostrada na Figura 2.1 (a), pode proporcionar uma taxa de renovação de ar mais elevada do que na ventilação natural unilateral, caracterizada por aberturas numa mesma fachada, conforme mostrada na Figura 2.1 (b) (FIGUEIREDO, 2008; EMMERICH; DOLS; AXLEX, 2001 *apud* SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011).

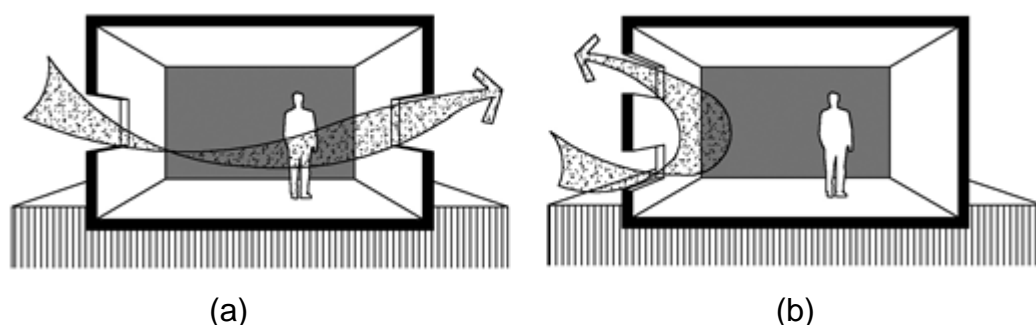


Figura 2.1 Ventilação natural: (a) cruzada; (b) unilateral

Fonte: SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011

A adequação climática das edificações também é importante quando relacionada ao consumo de energia. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual ela estará inserida apresentará um desempenho térmico adequado e economizará energia. A eficiência energética, então, pode ser entendida como obtenção de um bom desempenho térmico com um baixo dispêndio de energia. Portanto, quando um edifício proporciona as mesmas condições internas de conforto, com um menor consumo de energia, ele é mais eficiente energeticamente que outro (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Outro fator que colabora com o desconforto térmico do ambiente interno é o ganho de calor provocado pela incidência solar nas superfícies de aberturas e entornos da edificação, provocando um ganho térmico e conseqüente aumento da temperatura dos ambientes internos. Nesse contexto, a proteção solar, por meio de sombreamento destas aberturas, se torna uma estratégia arquitetônica eficaz para diminuir o impacto direto da radiação solar. Os dispositivos de proteção podem ser internos e externos à edificação. Dentre os dispositivos internos estão, por exemplo, as cortinas e persianas, enquanto como proteção externa, pode-se citar a marquise, a varanda, *brise-soleil* vertical e/ou horizontal, entre outros (LOPES, 2018).

A análise de desempenho térmico de edificações no Brasil se baseia nas normas NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2005). A norma NBR 15220 (ABNT, 2005) estabelece um zoneamento bioclimático que divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 2.2). Sugere ainda diretrizes de construção para habitações unifamiliares de interesse social, adotando uma carta bioclimática adaptada a partir da carta sugerida por Givoni (1992) e considerando que o desempenho térmico da edificação depende do comportamento iterativo entre fachada, cobertura e piso.

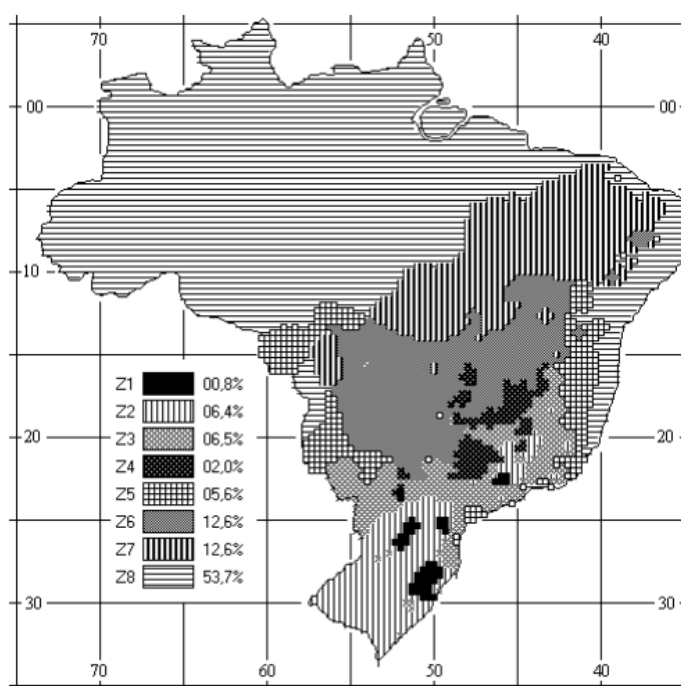


Figura 2.2 Zoneamento bioclimático

Fonte: ABNT, 2005.

Já a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece que a edificação deve atender as exigências de desempenho térmico, levando em consideração a região onde ela se encontra e suas características bioclimáticas, definidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005) citada anteriormente. Utilizando a simulação computacional, o critério mínimo de avaliação de desempenho térmico propõe que o nível mínimo de desempenho para aceitação é o que atende aos critérios de exigências de desempenho no verão e no inverno, descritos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Segundo os critérios de exigência de desempenho no verão o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. No caso das exigências para o inverno, os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3^o C. O nível para aceitação para ambos os casos é o M (denominado mínimo), conforme mostrado nas Tabela 2.1 e Tabela 2.2.

Para o caso de edificações naturalmente ventiladas, deve-se verificar se os requisitos estabelecidos em função das exigências humanas de conforto térmico são atendidos pelos ambientes internos. Caso contrário, é necessário buscar alternativas arquitetônicas ou a utilização de soluções mecânicas.

Tabela 2.1 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
I	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} + 1^{\circ}\text{C})$
<p>$T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005.</p>		

Fonte: ABNT, 2013.

Tabela 2.2 Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zona 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	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005.		

Fonte: ABNT, 2013.

2.2. Construções em *Wood Frame*

O *Wood Frame* – sistema de construção a seco em que toda a estrutura é composta de madeira – é o sistema mais utilizado em diversos países como Suécia, Canadá, Chile e EUA, onde fornecedores e soluções técnicas estão plenamente estruturados. Além disso, é o método predominante para construção de edificações de pequeno porte em muitos destes países desenvolvidos, o que pode ser uma solução viável para unidades habitacionais de padrão popular construídas atualmente no Brasil pelo Programa Minha Casa, Minha Vida, da Caixa Econômica Federal.

Diferente dos países desenvolvidos, o Brasil ainda não detém uma norma técnica que regule a construção em *Wood Frame*. No ano de 2011, com o crescimento de interesse pelo setor por parte de empresários e engenheiros, o primeiro documento técnico intitulado “Diretriz n° 005: Sistemas de construção estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamento em chapas delgadas – Sistemas leves tipo *Light Wood Framing*” foi aprovado pelo Sistema Nacional de Avaliações Técnicas - SINAT, apresentando critérios mínimos de desempenho e métodos de avaliação do sistema no Brasil. Posteriormente, por meio da aprovação dos resultados de ensaios realizados por instituições técnicas ligadas ao SINAT, foi concedido à TECVERDE ENGENHARIA S.A., empresa localizada no Paraná, o documento de avaliação técnica (DATEc) n° 20 – “Sistema de construção TECVERDE: sistema leve em madeira”, Figura 2.3. Ambos documentos servem de fundamentação técnica inicial para interessados nesse mercado (CARDOSO, 2015).



Figura 2.3 Construção em *Wood Frame*

Fonte: ESCOLA ENGENHARIA, 2019.

O método de construção a seco que encontra barreiras para se estabelecer no Brasil devido, principalmente, ao custo e a uma resistência cultural, apresenta alta velocidade de construção, desempenho e flexibilidade. Possuindo a sustentabilidade como uma característica, o sistema contribui para uma redução significativa do impacto ambiental do setor da construção civil por meio do uso de matéria prima renovável, redução de resíduos e emissão de CO₂. Apresentando também a industrialização do sistema de construção como vantagem, resulta em uma melhor qualidade no produto final, uma diminuição de mão de obra no setor e a possibilidade de produção em larga escala. As paredes podem ser inteiramente montadas dentro da fábrica e levadas até o local da obra, onde com auxílio de guindastes ou guas, a edificação é construída por meio do encaixe das paredes pré-fabricadas (Figura 2.4). Além disso, a obra é menos sujeita a atrasos devido às condições climáticas e o orçamento é mais confiável em relação a construção em alvenaria convencional. Segundo a empresa TECVERDE ENGENHARIA S.A. (2016), pioneira no sistema de construção de *Wood Frame* no Brasil, o método industrializado reduz em 85% a geração de resíduos, em 90% o uso de recursos hídricos e acelera em até três vezes o processo de construção, quando comparado ao método convencional em alvenaria.



Figura 2.4 Sistema industrializado

Fonte: TECVERDE ENGENHARIA, 2016.

A edificação em *Wood Frame* utiliza como fundação o sistema *radier*, podendo-se utilizar também a sapata corrida, uma vez que a estrutura é bastante leve e com cargas distribuídas ao longo das paredes. O *frame* – estrutura, utiliza madeira estrutural de floresta plantada e certificada (*Pinus*). Os montantes e soleiras, peças verticais e horizontais respectivamente, e as vergas e contra vergas são fixadas entre si. Por meio do cálculo estrutural determina-se o espaçamento máximo entre montantes, sendo o máximo permitido de 600mm, e a seção transversal mínima, que no caso de paredes com montantes estruturais é de 38x89mm. Em construções de pequeno porte, por exemplo de habitação social, apenas as paredes externas são estruturais (TECVERDE ENGENHARIA, 2018).

Segundo Cardoso (2015), ao contrário da visão errônea de que a utilização da madeira na construção civil implica no desmatamento e representa uma ameaça ambiental, quando explorada por meio de manejo florestal controlado e políticas de reflorestamento, a madeira é considerada um material sustentável e renovável, garantindo ao mesmo tempo a manutenção dos recursos florestais e a extração da

matéria prima. Além disso, sofre rápida biodegradação quando descartada, retornando ao ambiente natural. Por outro lado, essa vulnerabilidade a biodegradação também pode ser vista como um ponto negativo, necessitando ser tratada adequadamente com preservativos químicos a fim de prolongar seu tempo de vida. Ademais, é necessário evitar a exposição excessiva da madeira aos raios solares, a umidade externa e ao fogo. Por ser considerada um material de baixa resistência ao fogo, suas peças quando esbeltas requerem uma devida proteção contra esse.

O fechamento é executado com chapas OSB - *Oriented Strand Board* - utilizada também para contraventamento da estrutura e fixadas diretamente nos quadros estruturais com o auxílio de grampos galvanizados. São chapas estruturais de alta tecnologia que conferem grande resistência, devido a seu processo de fabricação: três camadas perpendiculares de tiras de madeira orientadas unidas com resina e prensadas sob alta temperatura. Essas chapas podem ter espessuras de 9,5mm, 11,1mm, 15,1mm e 18,3mm. A vedação da estrutura é completada com a instalação de camadas com função de impermeabilização. A base dos quadros estruturais é envelopada por manta asfáltica impermeabilizante industrializada até altura de 200mm em ambos os lados. Uma membrana hidrófuga vai à face externa sobre o OSB com função de controlar a umidade e o vapor que atingem a habitação. Esta manta garante a estanqueidade das paredes e além de impedir que a umidade externa intensa entre na estrutura, possibilita a passagem da umidade da parte interna do fechamento para o exterior, permitindo a redução de incidência de mofo e bolores nas paredes (TECVERDE ENGENHARIA, 2018; CARDOSO, 2015).

O painel externo é revestido com placas cimentícias (Figura 2.5), de 8mm, recebendo posteriormente o acabamento de pintura, textura ou cerâmica, permitindo conceder aparência similar à de uma construção em alvenaria convencional. Essas placas são fixadas às chapas de OSB e compostas basicamente por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. Dentre as características da placa cimentícia, destaca-se a grande resistência à umidade, o baixo peso próprio e a rapidez de execução. Nos Estados Unidos, o revestimento externo mais comum para construção de habitações de padrão popular é o PVC, conhecido como *Siding Vinílico*. Este concede a edificação um aspecto de revestimento de madeira e é de fácil e rápida instalação (TECVERDE ENGENHARIA, 2018; CARDOSO, 2015).



Figura 2.5 Casa montada (sem acabamento).

Fonte: CAMARGO, 2015.

Há uma versatilidade na escolha do revestimento de paredes internas e do forro. As paredes recebem chapas de gesso acartonado sobre o OSB, nas áreas secas são utilizadas chapas do tipo *Standard* (ST) com acabamento em pintura acrílica e nas áreas molháveis (cozinha e banheiro), são utilizadas chapas de gesso acartonado do tipo Resistentes à Umidade (RU). Essas chapas têm como vantagem em relação ao fechamento em alvenaria convencional uma menor massa proporcionando um menor peso próprio dos fechamentos, um fácil acesso às instalações hidráulicas e elétricas, a aplicação direta do acabamento sobre a superfície, a redução do volume de perda de material quando há planejamento, e, também, a rapidez de execução. O revestimento do forro também pode ser feito em gesso acartonado ou com régulas de PVC (TECVERDE ENGENHARIA, 2018; CARDOSO, 2015).

O isolamento térmico e acústico pode ser introduzido no interior de todas as paredes de geminação, lajes e coberturas. Em um fechamento industrializado constituído por várias camadas, como é o caso das estruturas em *Wood Frame* (Figura 2.6), a resistência total do fechamento é igual à soma das resistências de cada uma de suas camadas. Logo, o isolamento térmico será maior quanto mais materiais em forma de camadas forem incorporados ao fechamento e dependerá das propriedades termo-físicas desses materiais. Em climas quentes e úmidos, como o Brasil, o efeito das pontes térmicas no sistema não é tão significativo, uma vez que essas possuem maior

intensidade em regiões onde a amplitude térmica é elevada. Logo, como a diferença entre a temperatura interna e externa nas edificações não é tão considerável quanto no clima temperado, é pequena a perda de calor pelo fechamento (GOMES, 2007).

O objetivo do isolamento térmico é impedir a passagem de calor através das superfícies externas da edificação, de maneira a manter o interior mais frio no verão e mais quente no inverno e, portanto, reduzir o consumo de energia com aquecimento e resfriamento. Segundo um estudo realizado por Viana, Souza e Gomes (2019) em edificações em contêineres analisando diferentes fechamentos com materiais isolantes, os isolamentos por fibra cerâmica, isopor, lã de rocha e lã de vidro tiveram o comportamento muito parecido quando comparados entre si, enquanto a câmara de ar, no interior das paredes, gerou o melhor desempenho térmico na sala da edificação tanto para o verão como para o inverno. O isolamento por meio da câmara de ar evita a perda de calor do interior para o exterior em um curto espaço de tempo. Considerando também que as habitações de padrão popular devem visar um baixo custo de construção, a utilização de câmara de ar como isolante se mostra a opção mais indicada (VIANA, SOUZA, GOMES, 2019).

Wood Frame

Composição de materiais com função estrutural, de isolamento térmico-acústico, vedação e acabamentos

1. Estrutura de madeira
2. Isolante térmico-acústico
3. OSB
4. Membrana hidrófuga
5. Placa cimentícia
6. Placa de gesso acartonado
7. Acabamento

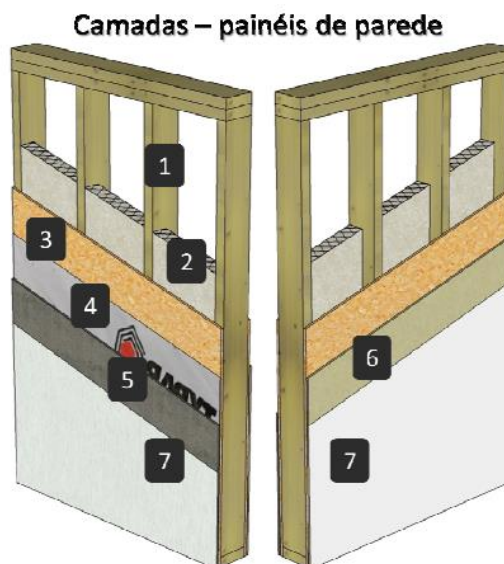


Figura 2.6 Composição *Wood Frame*

Fonte: TECVERDE ENGENHARIA, 2012.

Dentro deste cenário, o *Wood Frame* ganha força como método de construção inovador capaz de gerar edificações com maior produtividade e satisfazendo as

condições mínimas de desempenho. No Brasil, alguns elementos adicionais foram incluídos em relação à tecnologia utilizada em outros países, de forma a vencer barreira da cultura local. Um exemplo é a utilização interna de painéis OSB, adicionalmente às placas de gesso acartonado, tradicionalmente utilizadas. O painel de OSB interno permitiu, por exemplo, a fixação de prateleiras e televisores nas paredes, sem necessidade de orientações especiais aos usuários (TECVERDE ENGENHARIA, 2012).

2.3. Habitação de interesse social: Programa Minha Casa Minha Vida

O Programa “Minha Casa Minha Vida” (CAIXA, 2014) tem como finalidade incentivar a aquisição de moradia pelas famílias com baixa renda. São utilizadas grandes extensões de espaço urbano com projetos arquitetônicos padronizados, de forma a produzir unidades muito semelhantes mesmo em diferentes regiões do país. Entretanto, vem encontrando dificuldades com a produção e o cumprimento dos prazos de entrega das construções. Atualmente, muitas das construções do programa são executadas com o sistema de construção convencional, chamado assim por ser tradicionalmente o método mais empregado na construção civil brasileira. A edificação é construída com estrutura em concreto armado e com fechamento em tijolos cerâmicos. O sistema é caracterizado pela baixa produtividade, qualidade condicionada à mão de obra e grandes desperdícios. Frente a essa situação, o *Wood Frame* se mostra uma boa alternativa como método de construção para condomínios padronizados do Programa “Minha Casa Minha Vida”, capaz de gerar edificações com maior produtividade e satisfazendo as condições mínimas de desempenho (CARDOSO, 2015).

O primeiro residencial do programa “Minha Casa Minha Vida” construído em *Wood Frame* foi entregue no país no estado do Paraná. Batizado como “Moradias Nilo” (Figura 2.7), o condomínio situado em Curitiba conta com 66 unidades destinadas a famílias com renda de até R\$ 1,6mil. O sistema, que utiliza madeira de reflorestamento transformada por processo industrial em estrutura pré-moldada, permitiu que as unidades fossem construídas com um terço do prazo que seria necessário para a execução de uma casa de mesma área em alvenaria convencional. O sistema precisou ser adaptado ao Brasil e passou por ensaios de desempenho contra fogo,

desempenho térmico e acústico, entre outros, atendendo aos requisitos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013; BRASIL, 2015).



Figura 2.7 Moradias Nilo. Foto: Rafael Silva/Cohab.

Fonte: BRASIL, 2015.

2.4. O programa *EnergyPlus*

O desempenho térmico de edificações pode ser avaliado por meio de simulações computacionais. Nesse sentido, o programa *EnergyPlus* é um programa de simulação numérica de edificações desenvolvido pelo Departamento de Energia em cooperação com o Laboratório de Pesquisa do Departamento de Engenharia de Construção do Exército Norte-Americano, a Universidade de Estado de Oklahoma, o Departamento de Energia do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley e do Centro de Engenharia Solar da Flórida (Figura 2.8). Esse *software*, baseado nas características e capacidades dos programas BLAST e DOE-2, permite calcular o impacto de equipamentos de aquecimento, resfriamento, ventilação e tipos complexos de iluminação e venezianas de janelas para maximizar a eficiência energética da edificação, características não contempladas pelo *software* DOE-2 (CRAWLEY *et al.*, 2000).

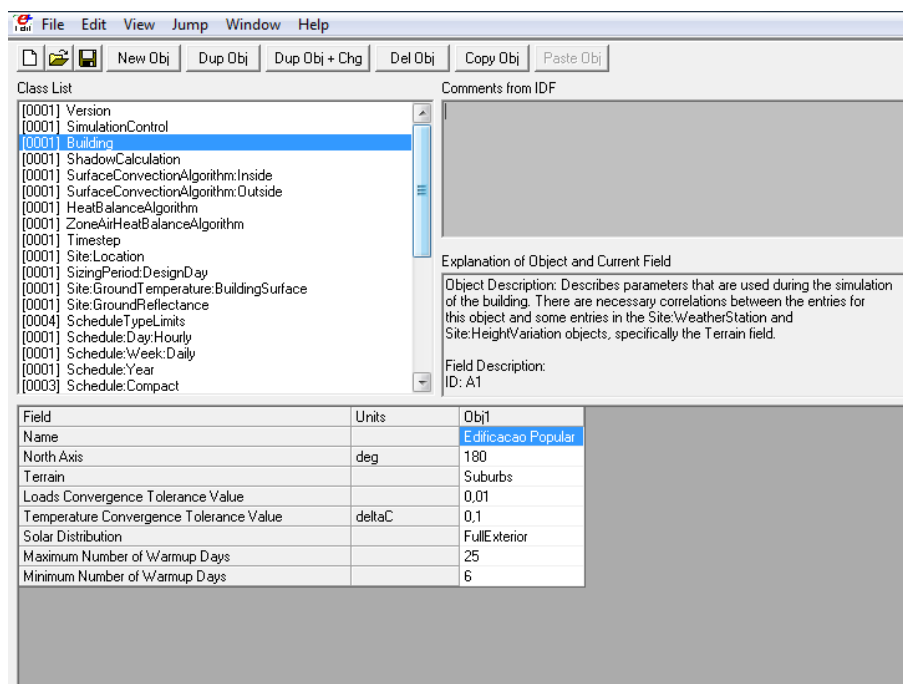


Figura 2.8 - Interface do programa *EnergyPlus*

Além disso, o programa *EnergyPlus* integra vários módulos que trabalham juntos permitindo calcular a energia requerida para aquecer ou resfriar uma edificação usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. A simulação analisa o modelo da edificação e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009).

Nesse estudo, seguindo os requisitos indicados pela norma BNR 15575 (ABNT, 2013), adota-se no processo de simulação o módulo de ventilação natural com taxas de ventilação e/ou renovação do ar constantes (objeto *ZoneVentilation*).

2.5. Parâmetros da simulação

A definição da geometria do modelo de simulação é um dos pontos mais importantes e trabalhosos do processo. Deve-se considerar a habitação como um todo, adotando cada ambiente como uma zona térmica. Conforme método detalhado na norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para efeito da avaliação do desempenho térmico são analisados os resultados dos dados obtidos para os cômodos de maior permanência humana, sendo eles a sala e os dormitórios. Apesar de analisar apenas os resultados dos recintos de maior permanência, o programa simula todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas e de massa entre os seus ambientes.

No caso em que a orientação da edificação implantada não esteja definida em projeto, avaliam-se os resultados considerando a posição dessa de tal forma que a unidade a ser avaliada tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico. A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda para a utilização de condição crítica do ponto de vista térmico para um “dia típico de projeto” as janelas dos dormitórios e salas voltadas para oeste, no caso de um dia típico de verão, e para o sul, no caso de um dia típico de inverno.

O valor da absorptância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme as características dos materiais utilizados nas superfícies externas da cobertura e conforme a cor definida em projeto nas paredes externas. Caso a cor não esteja definida, deve-se simular para três alternativas de cor, sendo elas cor clara (0,3), cor média (0,5) e cor escura (0,7) (NBR 15575, ABNT 2013).

Utilizando de simulação computacional, o critério mínimo de avaliação de desempenho térmico propõe que o nível mínimo de desempenho para aceitação é o que atende aos critérios de exigências de desempenho no verão e no inverno, segundo a norma NBR 15575 (ABNT 2013). A avaliação engloba edificações em fase de projeto e aquelas já existentes. Caso a unidade habitacional não atenda aos critérios estabelecidos para verão deve ser simulada novamente considerando como possíveis alternativas a utilização de sombreamento, dispositivo de proteção solar, e/ou a mudança na taxa de renovação do volume de ar do ambiente, antes considerada 1,0 ren/h, para 5,0 ren/h (NBR 15575, ABNT 2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho envolve uma abordagem computacional para a avaliação do desempenho térmico da edificação, realizada por meio do programa computacional *EnergyPlus*, versão 9.1. O programa *EnergyPlus* realiza simulações capazes de fornecer a resposta global da edificação proposta em relação às interações térmicas e de massa entre ambiente interno e ambiente externo (AKUTSU, 1998), com a contemplação das seguintes etapas:

- i) caracterização das condições climáticas;
- ii) caracterização da edificação e do seu perfil de ocupação;
- iii) caracterização e configuração dos fechamentos e estratégias bioclimáticas incorporadas no desenho;
- iv) simulação das interações térmicas e de massa entre o ambiente externo e interno;
- v) caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- vi) avaliação da distribuição interna da temperatura e umidade e verificação do critério de desempenho térmico segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

3.1. Condições Climáticas

O Brasil possui 8 zonas bioclimáticas estabelecidas pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005) que sugere uma cidade representativa para cada uma dessas zonas, definindo suas localizações geográficas e seus dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno, conforme mostrado na Tabela 3.1. Os dados climáticos para as cidades representativas das zonas bioclimáticas 2 e 5 são gerados com dados climáticos da base do INMET (2012).

As simulações computacionais desse estudo são realizadas inserindo a edificação estudada em 3 das 8 zonas bioclimáticas, considerando uma região com clima extremo para inverno (ZB1), clima extremo de verão (ZB8) e para um clima considerado como mediano (ZB3). Após a simulação, analisa-se a resposta da edificação em questão para os dias típicos de verão (Tabela 3.2) e de inverno (Tabela 3.3), conforme estabelecido pela norma 15575 (ABNT, 2013). A definição de um dia

típico de verão ou de inverno consiste em um dia real caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal, considerando o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos, no caso do verão, e o dia mais frio, no caso do inverno (ABNT, 2005).

Tabela 3.1 zonas bioclimáticas e respectivas cidades simuladas em destaque

ZONA BIOCLIMÁTICA		Latitude	Longitude	Altitude
1	Curitiba (PR)	S 25° 42'	W 49° 27'	924 m
2	São Lourenço (MG)	S 22° 10'	W 45° 01'	953 m
3	São Paulo (SP)	S 23° 50'	W 46° 62'	792 m
4	Brasília (DF)	S 15° 78'	W 47° 93'	1.160 m
5	Vitória da Conquista (BA)	S 14° 88'	W 40° 79'	875 m
6	Campo Grande (MS)	S 20° 45'	W 54° 62'	530 m
7	Cuiabá (MT)	S 15° 55'	W 56° 12'	151 m
8	Manaus (AM)	S 3° 13'	W 60° 02'	72 m

Fonte: ABNT, 2013.

Tabela 3.2 Dados de dias típicos de verão das cidades representativas das zonas bioclimáticas

ZONA BIOCLIMÁTICA		$T_{e_{máx}}$ diária °C	Amplitude diária de temperatura °C	$T_{e_{bulbo}}$ úmido °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade Décimos
1	Curitiba (PR)	31,4	10,2	21,3	4.988	8
2	São Lourenço (MG)	31,8	11,7	21,6	5.307	8
3	São Paulo (SP)	31,9	9,2	21,3	5.180	6
4	Brasília (DF)	31,2	12,5	20,9	4.625	4
5	Vitória da Conquista (BA)	31,7	10,3	21,0	5.030	8
6	Campo Grande (MS)	33,6	10	23,6	5.481	6
7	Cuiabá (MT)	37,8	12,4	24,8	4.972	6
8	Manaus (AM)	34,9	9,1	26,4	5.177	7

Fonte: ABNT, 2013; CPTEC,2009; INMET, 2012.

Tabela 3.3 Dados de dias típicos de inverno das cidades representativas das zonas bioclimáticas

	ZONA BIOCLIMÁTICA	$T_{e\text{mín}}\text{ diária}$ °C	Amplitude diária de temperatura °C	$T_{e\text{bulbo}}\text{ úmido}$ °C	Radiação solar Wh/m ²	Nebulosidade Décimos
1	Curitiba (PR)	0,7	11,6	11,0	3.211	6
2	São Lourenço (MG)	2,6	16,6	14,0	3.595	7
3	São Paulo (SP)	6,2	10,0	13,4	4.418	6
4	Brasília (DF)	10,0	12,2	14,8	4.246	3
5	Vitória da Conquista (BA)	10,7	9,7	15,1	4.110	7
6	Campo Grande (MS)	13,7	11,5	17,3	4.250	4
7	Cuiabá (MT)	11,4	14,3	20,1	4.163	4
8	Manaus (AM)	21,4	7,9	25,0	4.523	7

Fonte: ABNT, 2013; CPTEC, 2009; INMET, 2012.

3.2. Caracterização da edificação e seu perfil de ocupação

O objeto deste estudo é uma unidade residencial de padrão de construção popular, baseada nas especificações mínimas para o Programa “Minha Casa, Minha Vida” (CAIXA, 2014). A habitação possui uma área útil de 35,6m² e pé direito de 2,80m, com envoltória em *Wood Frame*. Constituída por sala, cozinha, um banheiro e dois quartos (Figura 3.1). Os ambientes utilizados no estudo são aqueles de permanência prolongada (Quarto 1, Quarto 2 e Sala). As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam o protótipo da edificação.

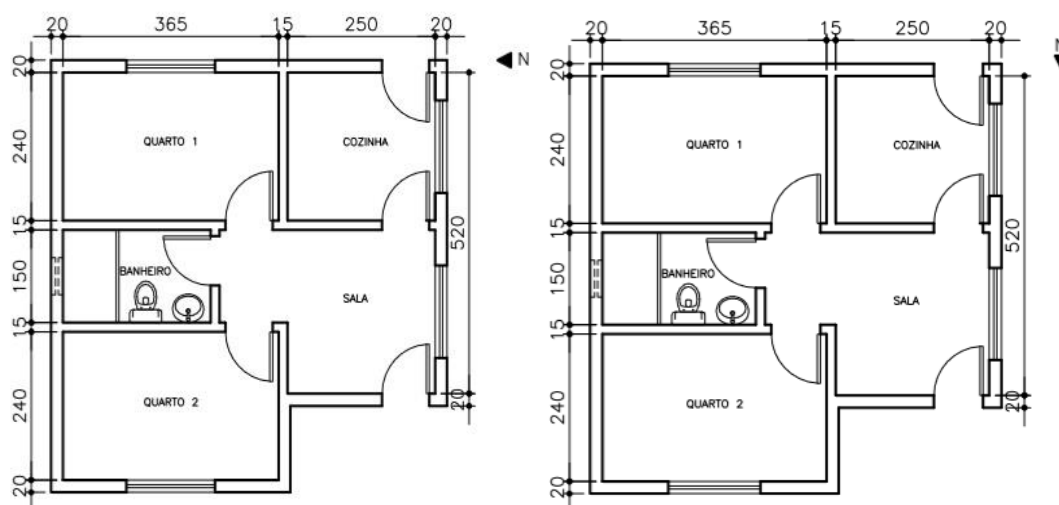


Figura 3.1 Planta baixa do protótipo: (a) Posição de Inverno; (b) Posição de verão.

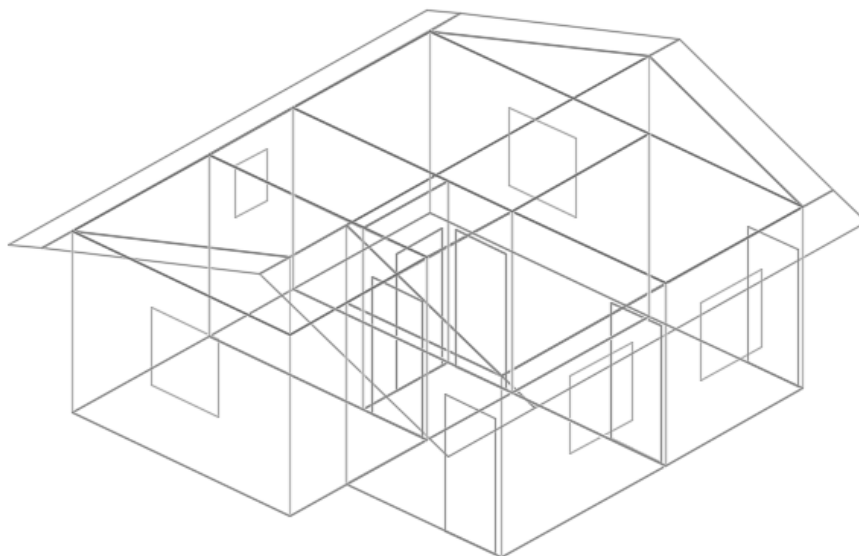


Figura 3.2 Protótipo de estudo

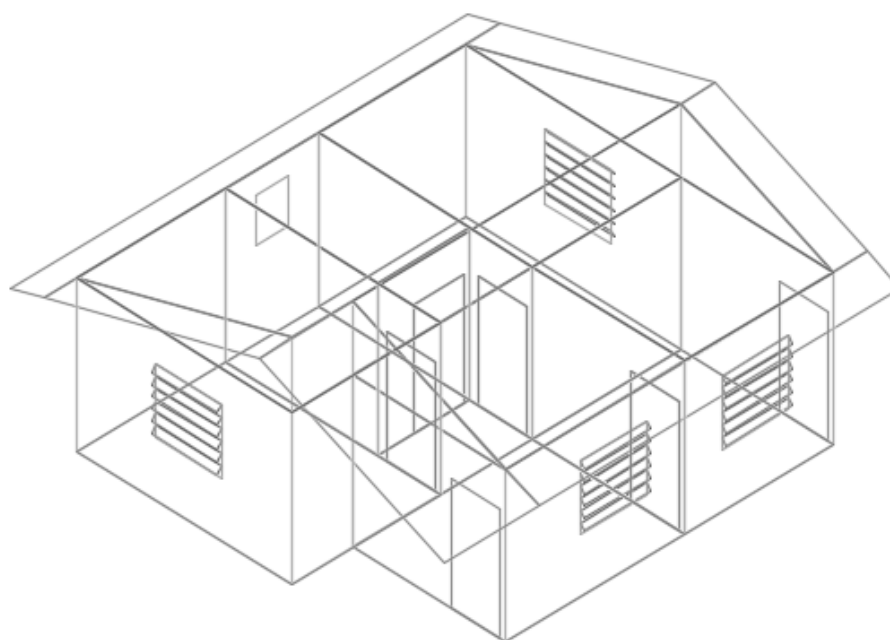


Figura 3.3 Protótipo de estudo – Com sombreamento das aberturas

3.3. Caracterização e configuração dos fechamentos

A simulação computacional é realizada para dois tipos de fechamento a fim de comparação de desempenho térmico, sendo eles *Wood Frame* e Alvenaria

Convencional. As características dos materiais utilizados na composição dos fechamentos são apresentadas nos itens a seguir.

3.3.1. Fechamento em *Wood Frame*

As composições e propriedades termofísicas dos materiais utilizados (Figura 3.4) para o fechamento se encontram na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5.

Tabela 3.4 - Sistemas de fechamento em *Wood Frame*

Fechamento	Material
Fechamento Externo	Placa Cimentícia, OSB, Câmara de ar, OSB, Placa de gesso acartonado
Fechamento interno	Placa de gesso acartonado, OSB, Câmara de ar, OSB, Placa de gesso acartonado
Cobertura	Telha Cerâmica
Forro	PVC, lã de vidro
Piso	Concreto, Piso Cerâmico
Portas	Compensado
Janelas	Vidro

Figura 3.4 Fechamento externo e interno em *Wood Frame* – Cotas em mm.

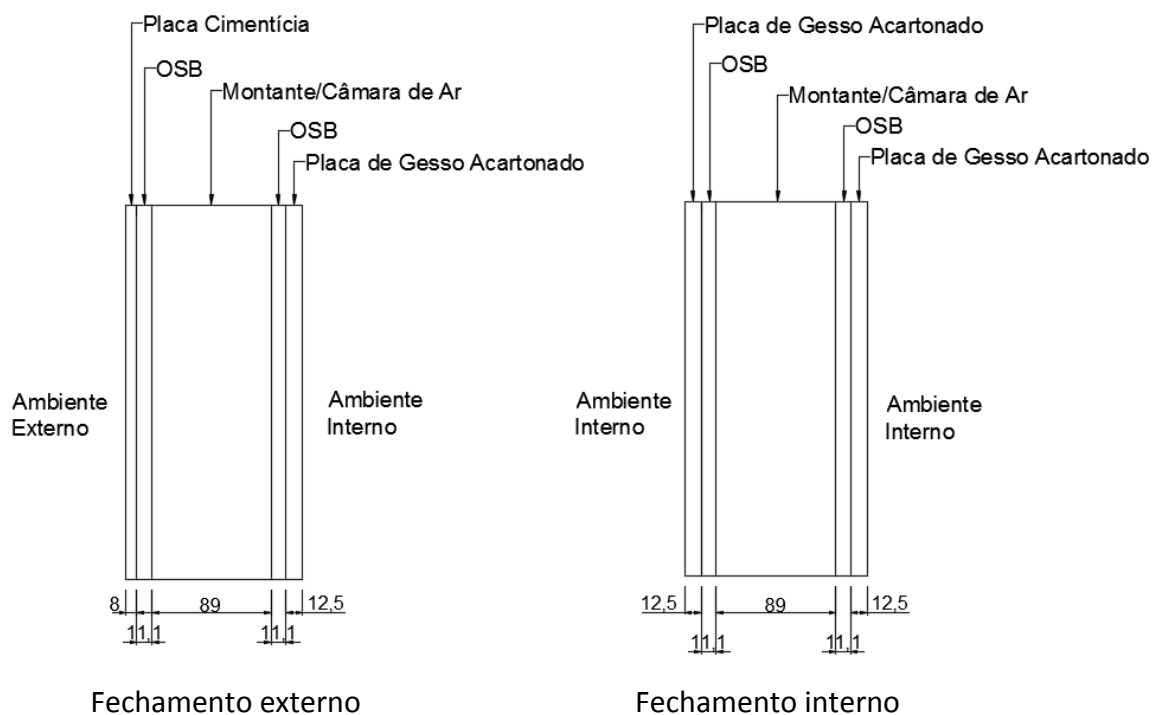


Tabela 3.5 – Propriedades termofísicas dos materiais

MATERIAIS	CONDUTIVIDADE TÉRMICA k(W/m.K)	MASSA ESPECÍFICA ρ (kg/m ³)	CALOR ESPECÍFICO c(J/kg.K)	ESPESSURA (mm)
OSB	0,17	681	2300	11,1
Lã de vidro	0,045	100	700	100
Placa cimentícia	0,35	1700	1000	8
Telha Cerâmica	1,05	2000	920	20
Gesso cartonado	0,35	750	840	12,5
Forro de gesso	0,35	750	840	12,5
Compensado	0,15	450	2300	0,03
Concreto	1,75	2400	1000	0,15
Piso Cerâmico	0,9	1600	920	0,002

Fonte: ABNT, 2005; TECVERDE ENGENHARIA, 2018.

A resistência térmica da câmara de ar inserida na simulação computacional é de 0,17m²K/W, baseada na Tabela 3.6 retirada da norma NBR 15220 (ABNT,2005), considerando superfície da câmara de ar de alta emissividade e espessura maior que 5 cm.

Tabela 3.6 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 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 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, 2005.

3.3.2. Fechamento em Alvenaria Convencional

As composições e propriedades termofísicas dos materiais utilizados, Figura 3.5, para o fechamento se encontram na Tabela 3.7 e na Tabela 3.8.

Tabela 3.7 Sistemas de fechamento em Alvenaria Convencional

Fechamento	Material
Fechamento	Tijolo e Reboco fino
Cobertura	Telha Cerâmica
Forro	PVC, lã de vidro
Piso	Concreto, Piso Cerâmico
Portas	Compensado
Janelas	Vidro

Tabela 3.8 Propriedades termofísicas dos materiais

MATERIAIS	CONDUTIVIDADE TÉRMICA k(W/m.K)	MASSA ESPECÍFICA ρ(kg/m³)	CALOR ESPECÍFICO c(J/kg.K)	ESPESSURA (m)
Tijolo	0,9	1600	920	0,09
Reboco fino	0,22	1680	1080	0,015
Concreto	1,75	2400	1000	0,15
Telha Cerâmica	1,05	2000	920	0,02
Piso Cerâmico	0,9	1600	920	0,002
Compensado	0,15	450	2300	0,03
Lã de vidro	0,045	100	700	0,1
PVC	0,2	1300	960	0,008

Fonte: ABNT, 2005.

Figura 3.5 Características da parede de tijolos maciços

Dados:

Dimensões do tijolo = 5 cm x 9 cm x 19 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$

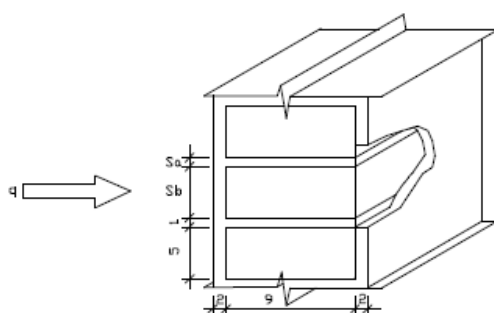
$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)

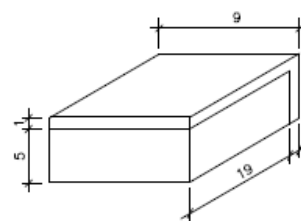
$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)



Vista em perspectiva



Elemento isolado

Símbolo	Variável
c	Calor específico
λ	Condutividade térmica do material
ρ	Densidade de massa aparente do material

Fonte: ABNT, 2005.

3.4. Parâmetros utilizados na simulação

As avaliações são realizadas conforme diretrizes da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) para o fechamento proposto. Assim, a absorvância à radiação solar é avaliada variando-se três alternativas de cor das superfícies: cor clara: $\alpha=0,3$; cor média: $\alpha=0,5$; e cor escura: $\alpha=0,7$, e a ventilação natural dos ambientes é avaliada utilizando taxas de renovação do ar constante (objeto *Zone Ventilation* no *EnergyPlus*), com taxa de 1ren/h e de 5ren/h. Ainda seguindo as diretrizes da norma, as simulações são realizadas com e sem a utilização de sombreamento das aberturas para dia típico de verão.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Desempenho térmico da edificação: Temperatura interna nos ambientes de permanência prolongada

Nas Tabelas 4.1 a 4.5 apresentam-se os resultados de temperatura interna máxima (T_i), que mostram a influência de alternativas de projetos com diferentes cores das superfícies, taxas de ventilação natural e utilização de sombreamento. Encontram-se destacadas de cinza as temperaturas que excedem o critério mínimo de desempenho térmico da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A descrição detalhada das temperaturas internas horárias dos cômodos de maior permanência é apresentada no Apêndice A.

4.1.1. Fechamento em *Wood Frame*

Tabela 4.1 Condições mínimas de temperatura interna, para um dia típico de verão, fechamento em *Wood Frame*, sem sombreamento, considerando 1 renovação

VERÃO - $T_{i, \text{máx}}$ (°C)										
Zona Bioclimática	$T_{e, \text{máx}}$	$\alpha = 0,3$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,7$		
		Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2
1	31,4	31,7	30,4	30,3	32,1	30,6	30,6	32,4	30,9	30,9
3	31,9	31,4	31,1	30,17	31,7	31,4	31,1	31,9	31,7	31,4
8	34,9	35,9	36,4	34,9	36,5	37,3	35,5	37,0	38,0	36,0

Tabela 4.2 Condições mínimas de temperatura interna, para um dia típico de verão, fechamento em *Wood Frame*, sem sombreamento, considerando 5 renovações.

VERÃO - $T_{i, \text{máx}}$ (°C)										
Zona Bioclimática	$T_{e, \text{máx}}$	$\alpha = 0,3$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,7$		
		Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2
1	31,4	30,9	30,4	30,4	31,1	30,5	30,5	31,3	30,6	30,7
3	31,9	31,2	31,0	31,0	31,3	31,2	31,1	31,4	31,4	31,3
8	34,9	34,9	35,3	34,4	35,3	35,9	34,8	35,6	36,3	35,1

Tabela 4.3 Condições mínimas de temperatura interna, para um dia típico de verão, fechamento em *Wood Frame*, com sombreamento, considerando 1 renovação

VERÃO - $T_{i, \text{máx}}$ (°C)										
Zona Bioclimática	$T_{e, \text{máx}}$	$\alpha = 0,3$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,7$		
		Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2
1	31,4	30,1	29,7	29,8	30,5	29,9	30,1	30,9	30,1	30,3
3	31,9	30,4	30,4	30,3	30,7	30,7	30,6	30,9	31,0	30,8
8	34,9	34,6	34,9	34,3	35,3	35,8	34,9	35,8	36,5	35,4

Tabela 4.4 Condições mínimas de temperatura interna, para um dia típico de verão, fechamento em *Wood Frame*, com sombreamento, considerando 5 renovações.

VERÃO - $T_{i, \text{máx}}$ (°C)										
Zona Bioclimática	$T_{e, \text{máx}}$	$\alpha = 0,3$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,7$		
		Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2
1	31,4	30,1	30,0	30,1	30,3	30,1	30,2	30,5	30,2	30,4
3	31,9	30,6	30,7	30,7	30,8	30,8	30,8	30,9	31,0	31,0
8	34,9	34,2	34,5	34,2	34,6	35,0	34,5	34,9	35,4	34,8

Tabela 4.5 Condições mínimas de temperatura interna, para um dia típico de inverno, fechamento em *Wood Frame*, sem sombreamento

INVERNO - $T_{i, \text{mín}}$ (°C)										
Zona Bioclimática	$T_{e, \text{mín}} + 3^{\circ}\text{C}$	$\alpha = 0,3$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,7$		
		Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2	Sala	Quarto1	Quarto2
1	3,8	5,1	5,2	5,0	5,2	5,3	5,1	5,3	5,3	5,2
3	9,7	10,7	10,9	10,7	10,8	11,0	10,8	10,9	11,1	10,9

Observa-se nos resultados apresentados na Tabela 4.5 que o requisito mínimo da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) é atendido no inverno. A análise de desempenho térmico para a zona bioclimática 8 no inverno não é necessária. No verão o requisito mínimo não é atendido considerando a taxa de renovação de ar de 1ren/h (Tabela 4.1), em edificações sem sombreamento das aberturas, para duas das três zonas simuladas. Obtém-se que na ZB1 e na ZB8 não é atendido o critério mínimo da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) para nenhuma taxa de absorvância. Enquanto na ZB3 o critério é atendido para todas as taxas de absorvância.

Conforme indicado pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), simula-se para uma taxa de ventilação maior, no caso 5 ren/h, condição que aproxima a temperatura interna da edificação à temperatura externa. Para essa segunda situação (Tabela 4.2), na ZB1 e na ZB3 atende-se o requisito mínimo da norma. Para a ZB8 obtém-se resultados que não atendem a norma em nenhuma das taxas de absorvância.

Simula-se, então, para uma terceira situação, também conforme indicação da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), inserindo sombreamento nas aberturas da edificação (Tabela 4.3 e Tabela 4.4). Reafirma-se então que os resultados obtidos para a ZB1 e

a ZB3 atendem os requisitos mínimos da norma, tanto para 1 ren/h quanto para 5 ren/h, enquanto a ZB8 atende apenas quando considerada a taxa de absorvância $\alpha = 0,3$. Para as outras situações simuladas ($\alpha = 0,5$ e $\alpha = 0,7$), a ZB8 continua a não atender ao requisito mínimo da norma.

4.2. Análise do *Wood Frame* em relação à absorvância à radiação solar

Nas Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3 apresenta-se as temperaturas externas máximas e as temperaturas internas máximas para os ambientes de maior permanência - Sala, Quarto 1 e Quarto 2 (Figura 3.1) - para um dia típico de verão referente à ZB1 (Curitiba), ZB3 (São Paulo) e ZB8 (Manaus), considerando 5 ren/h. Compara-se a absorvância à radiação solar, variando três alternativas de cor das superfícies: cor clara: $\alpha=0,3$; cor média: $\alpha=0,5$; e cor escura: $\alpha=0,7$. No Apêndice B encontra-se de forma detalhada a comparação horária das temperaturas internas dos cômodos de maior permanência.

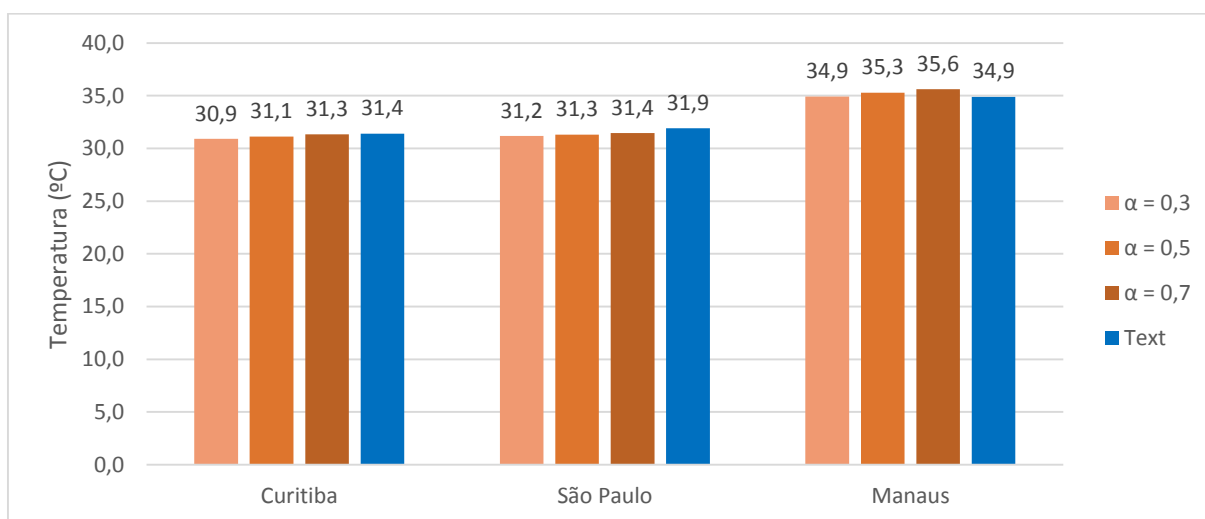


Figura 4.1 Comparação da temperatura máxima para o dia típico de verão nas diferentes zonas bioclimáticas (ZB1, ZB3 e ZB8), considerando $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$ e $\alpha = 0,7$, com 5 ren/h na Sala - ambientes com fechamento em *Wood Frame*.

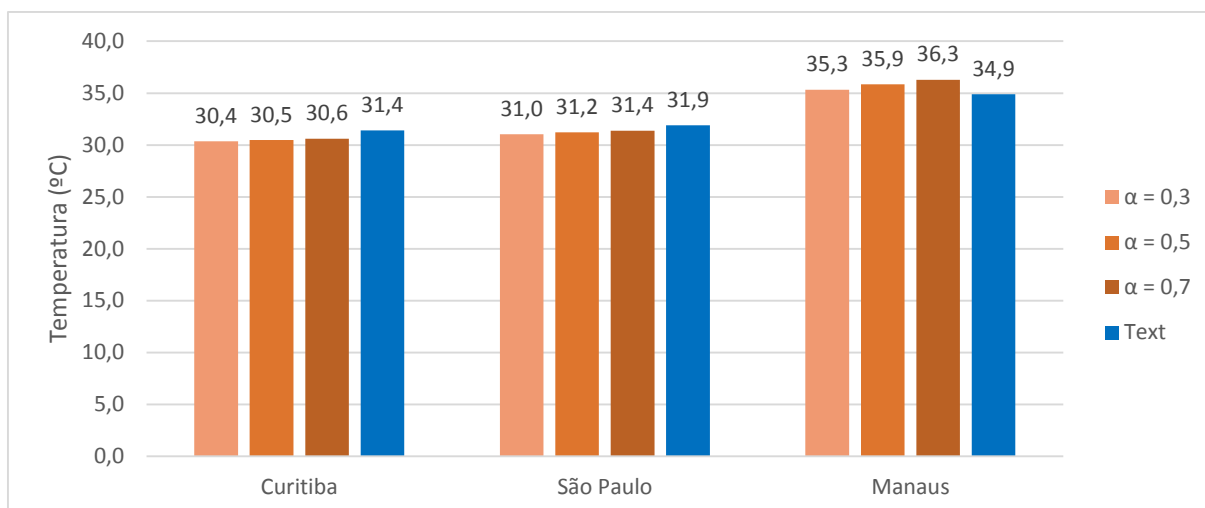


Figura 4.2 Comparação da temperatura máxima para o dia típico de verão nas diferentes zonas bioclimáticas (ZB1, ZB3 e ZB8), considerando $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$ e $\alpha = 0,7$, com 5 ren/h no Quarto 1 - ambientes com fechamento em *Wood Frame*.

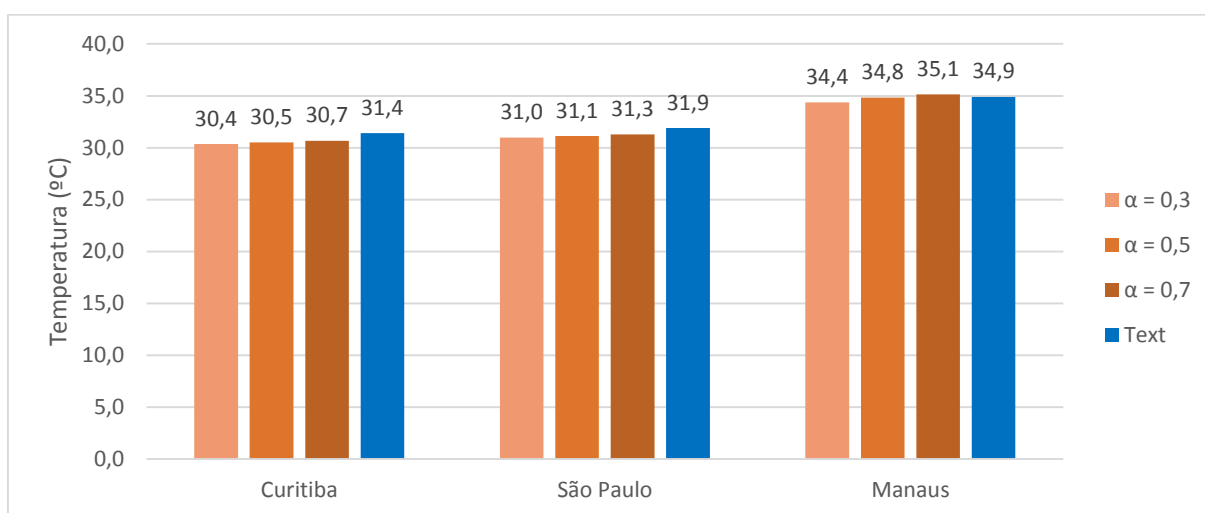


Figura 4.3 Comparação da temperatura máxima para o dia típico de verão nas diferentes zonas bioclimáticas (ZB1, ZB3 e ZB8), considerando $\alpha = 0,3$, $\alpha = 0,5$ e $\alpha = 0,7$, com 5 ren/h no Quarto 2 - ambientes com fechamento em *Wood Frame*.

Conforme mostrado nos resultados apresentados nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 observa-se com relação à absorvância térmica, que as cores claras ($\alpha = 0,3$) são mais favoráveis ao desempenho térmico, sendo mais indicada sua utilização.

4.3. Análise do *Wood Frame* em relação às taxas de renovação de ar

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), quando a edificação não atende ao critério mínimo de avaliação de desempenho térmico estabelecidos para verão deve ser simulada novamente considerando como possíveis alternativas a mudança na taxa de renovação do volume de ar do ambiente de 1 ren/h para 5 ren/h.

Nas Figuras 4.4 a 4.6 apresenta-se a evolução temporal da temperatura externa e interna para a Sala (Figura 3.1) para um dia típico de verão referente à ZB1, ZB3 e ZB8, para as taxas de renovação do ar de 1ren/h e de 5ren/h, considerando $\alpha = 0,3$.

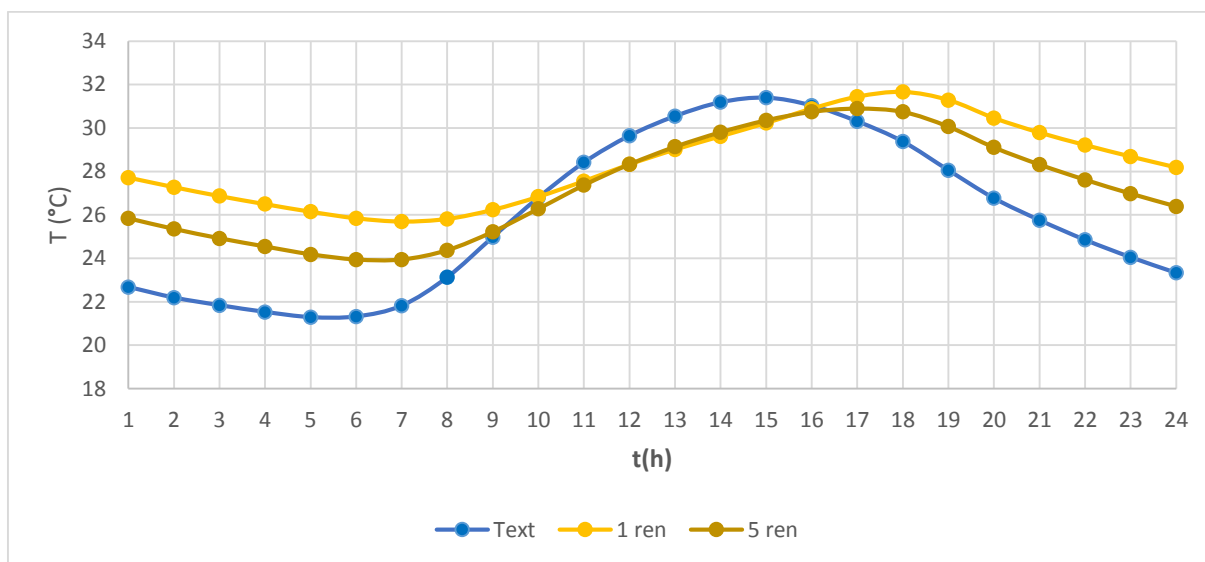


Figura 4.4 Comparação da evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala no dia típico de verão para as taxas de ventilação de 1 ren/h e 5 ren/h, na ZB1.

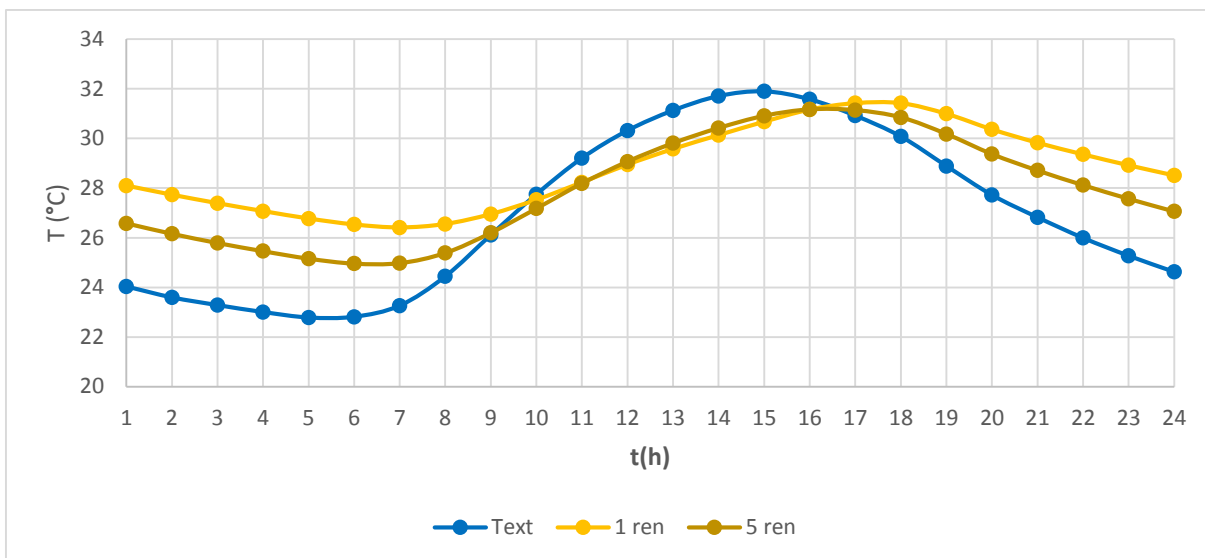


Figura 4.5 Comparação da evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala no dia típico de verão para as taxas de ventilação de 1 ren/h e 5 ren/h, na ZB3.

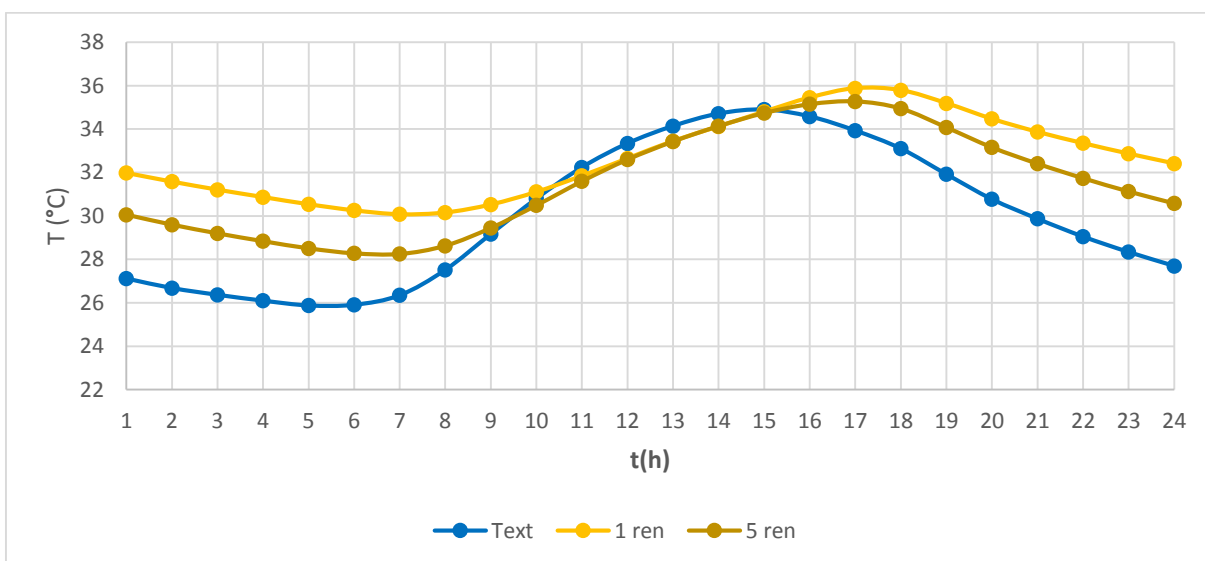


Figura 4.6 Comparação da evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala no dia típico de verão para as taxas de ventilação de 1 ren/h e 5 ren/h, na ZB8.

Ao considerar o ambiente com uma taxa de 5 renovações por hora, sua temperatura interna diminui, aproximando-se da temperatura externa. Como se pode observar, no caso da edificação com *Wood Frame*, esse aumento de ventilação diminui a temperatura interna demonstrando-se favorável a edificação.

4.4. Análise do *Wood Frame* em relação aos requisitos mínimos da norma NBR 15575

4.4.1. Zona Bioclimática 1

Nas Figuras 4.7 a 4.9 apresenta-se a evolução temporal da temperatura externa e interna para os ambientes Sala, Quarto 1 e Quarto 2 (Figura 3.1) para um dia típico de verão e um dia típico de inverno referente à ZB1 em relação aos requisitos mínimos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para as taxas de renovação do ar de 5 ren/h e $\alpha = 0,3$. Simula-se para a edificação com e sem a utilização de sombreamento das aberturas.

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a temperatura máxima exigida para o nível mínimo de desempenho em um dia típico de verão é 31,4°C (Tabela 4.1), enquanto para um dia típico de inverno a temperatura mínima exigida é 3,8°C (Tabela 4.5).

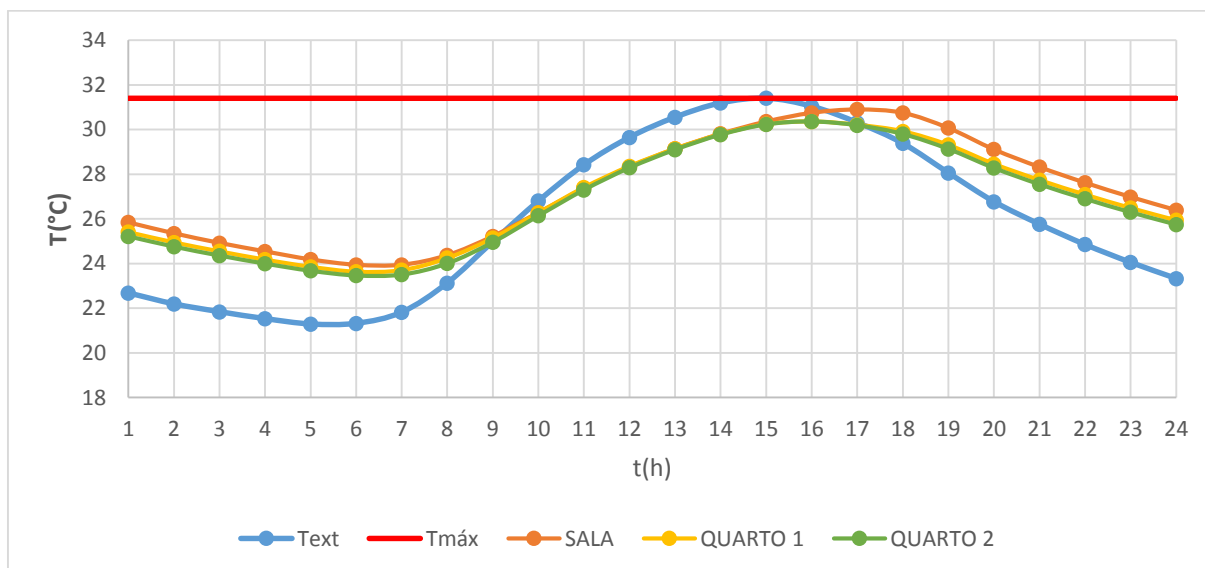


Figura 4.7 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, sem sombreamento – ZB1

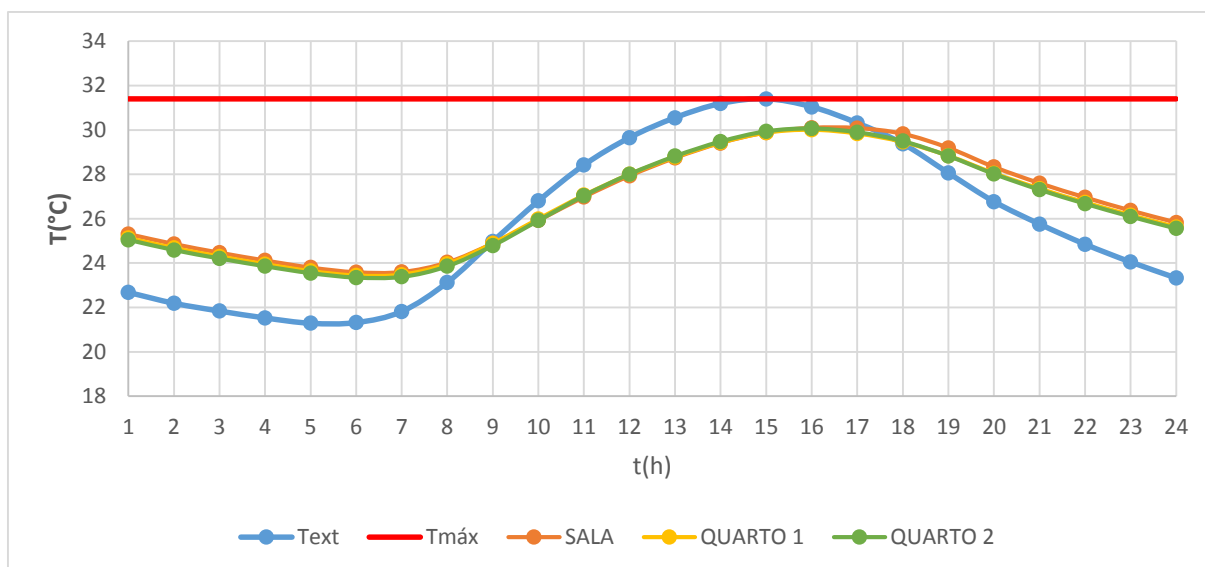


Figura 4.8 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, com sombreamento – ZB1

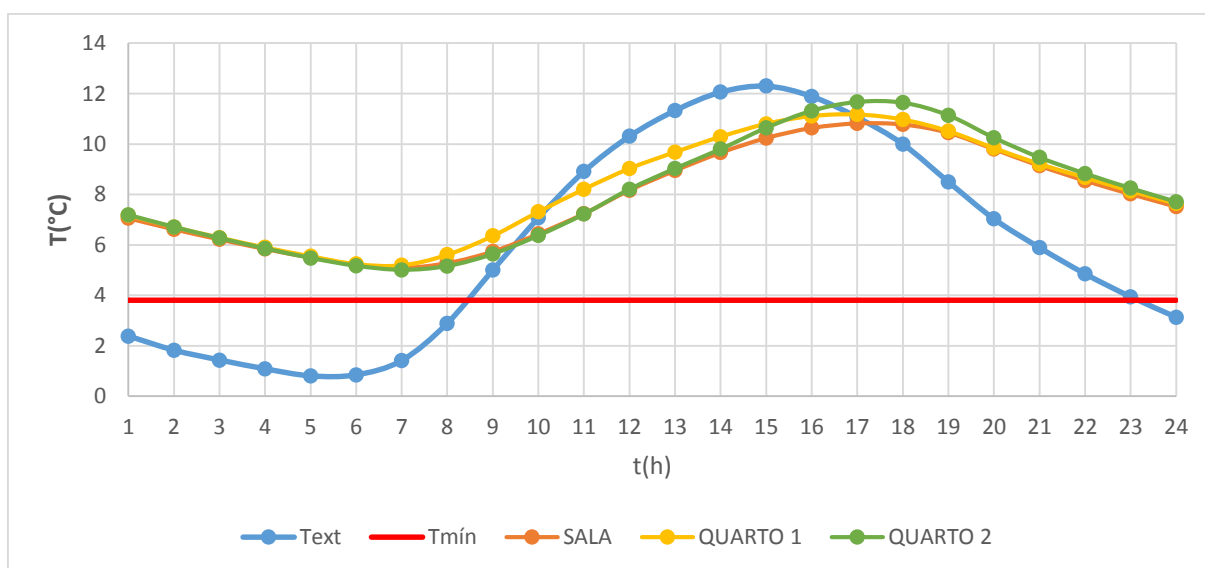


Figura 4.9 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de inverno com relação a temperatura mínima exigida – ZB1

Observa-se pelos resultados obtidos que os critérios mínimos estabelecidos em norma são alcançados pelos ambientes de maior permanência. Apesar da Sala apresentar um desempenho térmico pior que os demais recintos, os três cômodos alcançam a exigência de temperatura da norma para a ZB1.

4.4.2. Zona Bioclimática 3

Nas Figuras 4.10 a 4.12 apresenta-se a evolução temporal da temperatura externa e interna para os ambientes Sala, Quarto 1 e Quarto 2 (Figura 3.1) para um dia típico de verão e um dia típico de inverno referente à ZB3 em relação aos requisitos mínimos da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), para as taxas de renovação do ar de 5 ren/h e $\alpha = 0,3$. Simula-se para a edificação com e sem a utilização de sombreamento das aberturas.

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a temperatura máxima exigida para o nível mínimo de desempenho em um dia típico de verão é 31,9°C (Tabela 4.1), enquanto para um dia típico de inverno a temperatura mínima exigida é 9,7°C (Tabela 4.5).

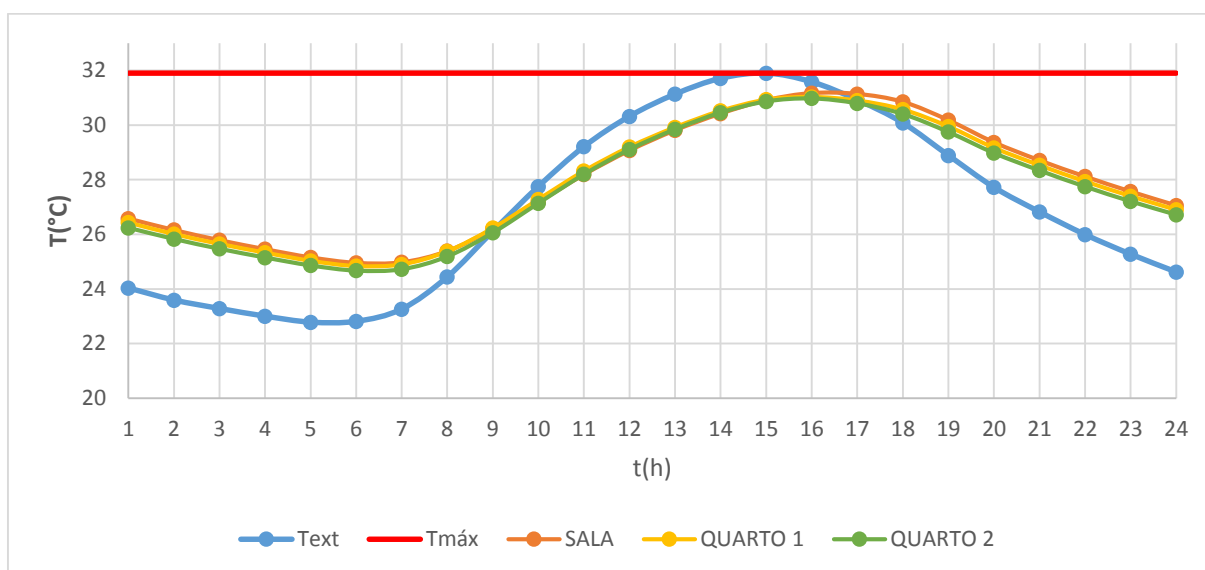


Figura 4.10 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, sem sombreamento – ZB3

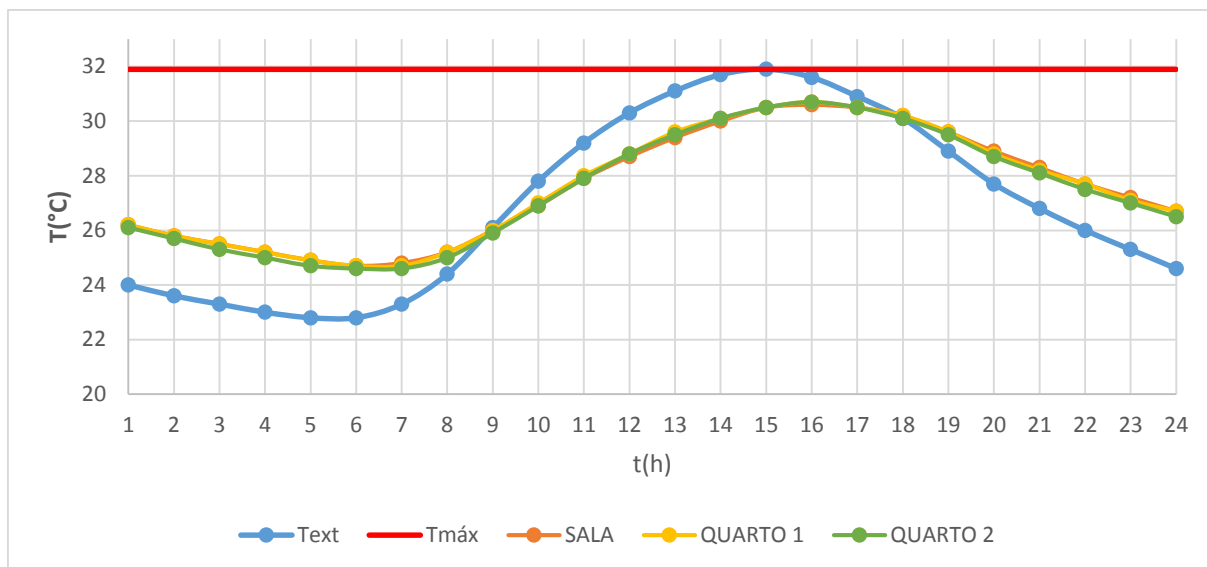


Figura 4.11 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, com sombreamento – ZB3

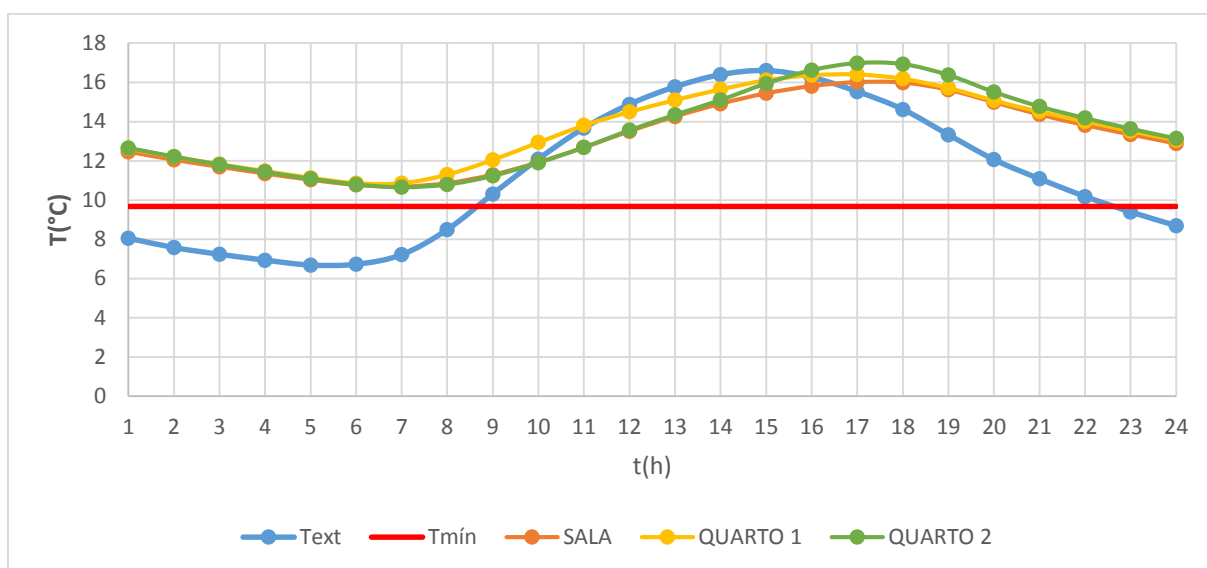


Figura 4.12 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de inverno com relação a temperatura mínima exigida – ZB3

Assim como nos resultados obtidos para a ZB1, a edificação atende o requisito mínimo da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) também para a ZB3.

4.3.3. Zona Bioclimática 8

Na Figura 4.13 e na Figura 4.14 apresenta-se a evolução temporal da temperatura externa e interna para os ambientes Sala, Quarto 1 e Quarto 2 (Figura 3.1) para um dia típico de verão referente à ZB8, em relação aos requisitos mínimos da norma NBR

15575 (ABNT, 2013), para as taxas de renovação do ar de 5 ren/h e $\alpha = 0,3$. Simulase para a edificação com e sem a utilização de sombreamento das aberturas.

A temperatura máxima exigida para o nível mínimo de desempenho segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) é $34,9^{\circ}\text{C}$ (Tabela 4.1). A análise de desempenho térmico para a ZB8 no inverno não é necessária.

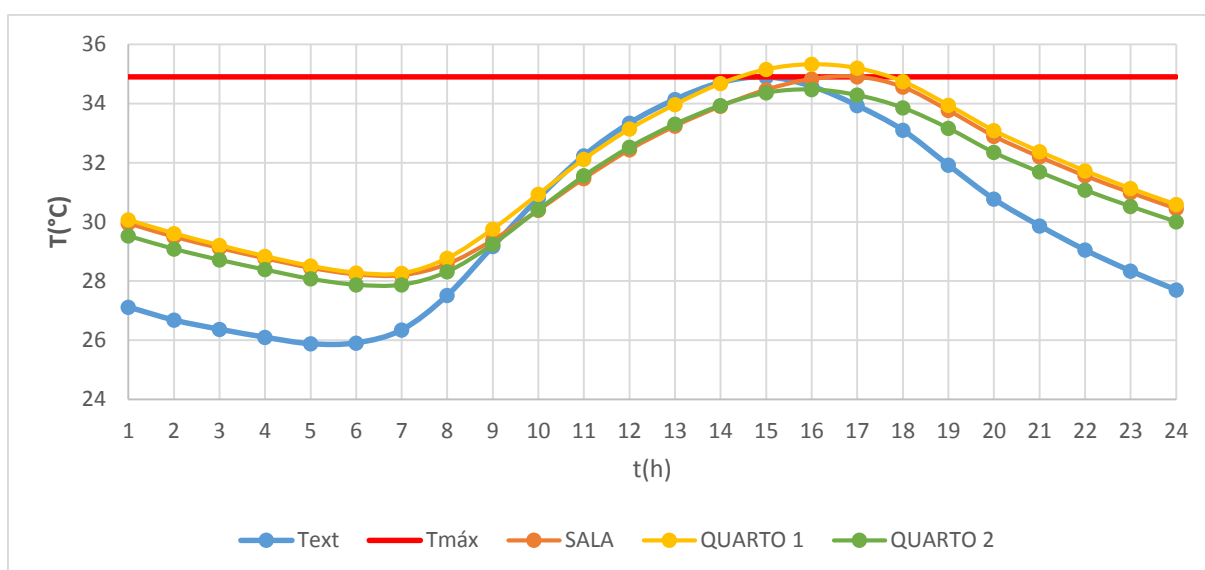


Figura 4.13 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, sem sombreamento – ZB8

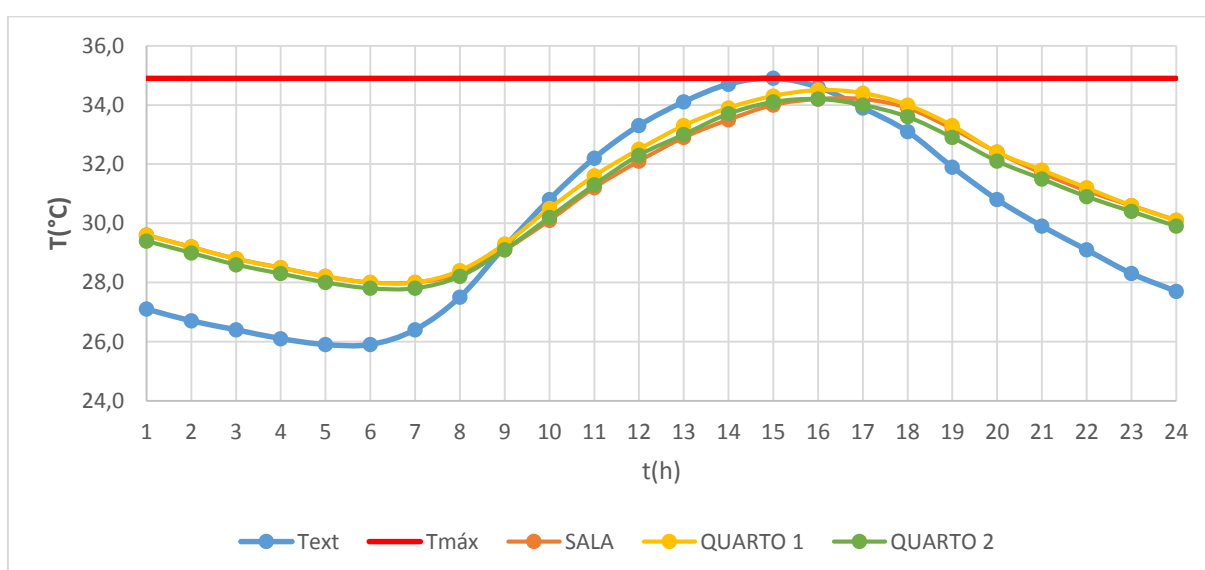


Figura 4.14 Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente Sala, Quarto 1 e Quarto 2 para o dia típico de verão com relação a temperatura mínima exigida, com sombreamento – ZB8

Conforme observado nos resultados apresentados na Figura 4.13 e na Figura 4.14, a edificação não apresenta um bom desempenho térmico, uma vez que atende ao critério mínimo da norma para a ZB8 apenas quando considerado o sombreamento das aberturas da edificação. No caso da simulação sem a utilização deste sombreamento, apesar do Quarto 2 se enquadrar na norma, os demais cômodos de maior permanência Sala e Quarto 1 apresentam temperaturas internas superiores às temperaturas externas da zona bioclimática. Dessa forma, se confirma a necessidade de utilizar alternativas, como o sombreamento ou técnicas de resfriamento artificial, como o uso de condicionador de ar.

4.5. Comparação do desempenho térmico do *Wood Frame* em relação à Alvenaria convencional

Nas Figuras 4.15 a 4.19 apresenta-se a evolução temporal da temperatura externa e interna para o ambiente Sala (Figura 3.1), comparando-se o desempenho térmico do fechamento em *Wood Frame* com o fechamento convencional em Alvenaria, ou seja, com tijolos cerâmicos furados, referente às Zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8, considerando a edificação com superfícies externas de cor clara ($\alpha=0,3$). O estudo é realizado para o dia típico de verão, considerando 5 ren/h, (Figura 4.15, Figura 4.16 e Figura 4.17) e para o dia típico de inverno, considerando 1 ren/h (Figura 4.18 e Figura 4.19).

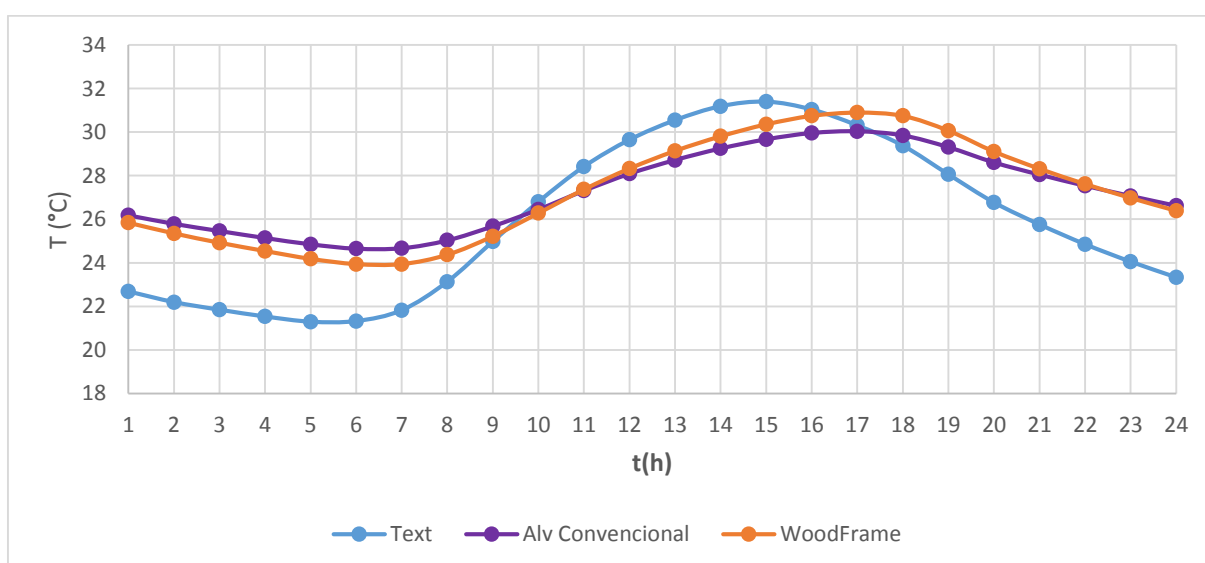


Figura 4.15 Comparação do comportamento térmico do ambiente Sala no dia típico de verão, entre *Wood Frame* e alvenaria comum, para 5 ren/h – ZB1

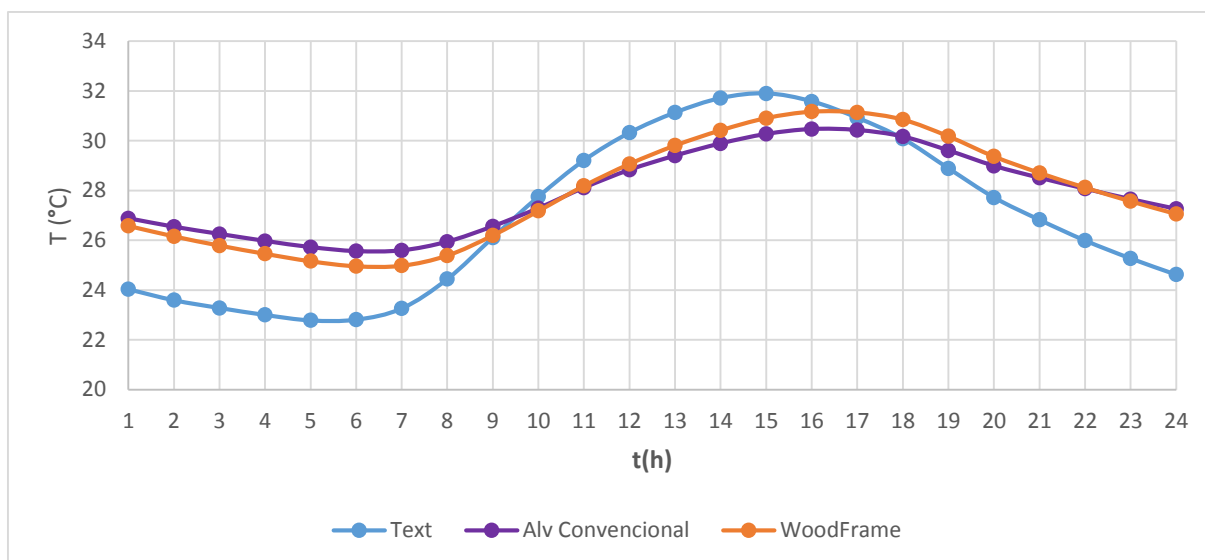


Figura 4.16 Comparação do comportamento térmico do ambiente Sala no dia típico de verão, entre *Wood Frame* e alvenaria comum, para 5 ren/h – ZB3

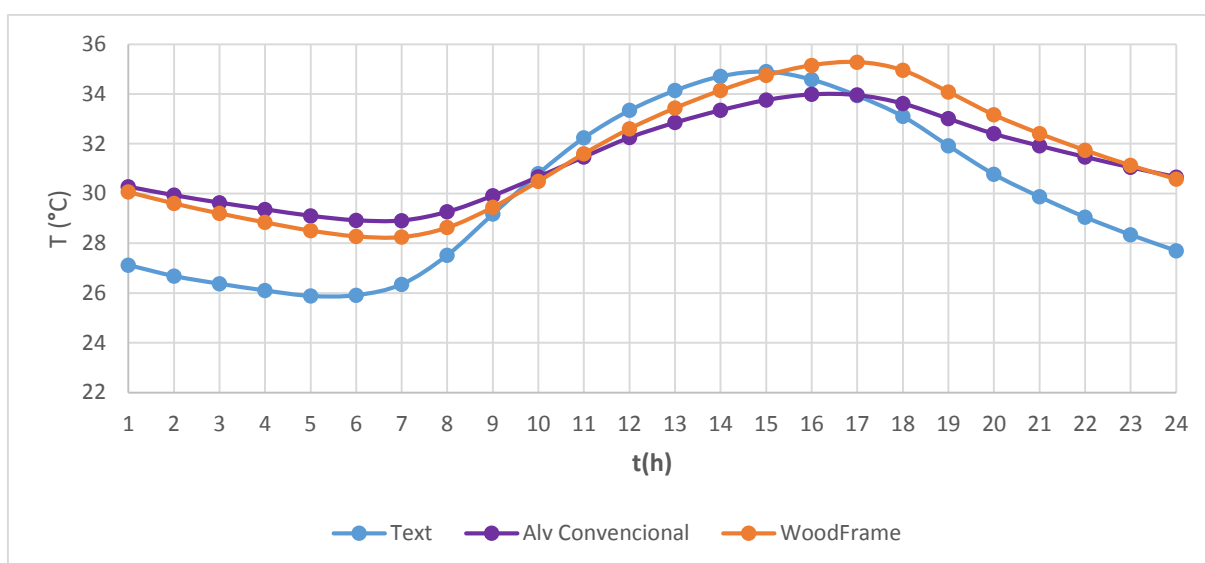


Figura 4.17 Comparação do comportamento térmico do ambiente Sala no dia típico de verão, entre *Wood Frame* e alvenaria comum, para 5 ren/h – ZB8.

Observa-se pelos resultados obtidos que o fechamento em *Wood Frame* proporciona uma amplitude térmica diária da temperatura interna maior se comparada ao fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos. O fechamento *Wood Frame* apresenta temperaturas que tendem a se aproximar às temperaturas externas, necessitando um maior estudo de estratégias passivas para minimizar este efeito.

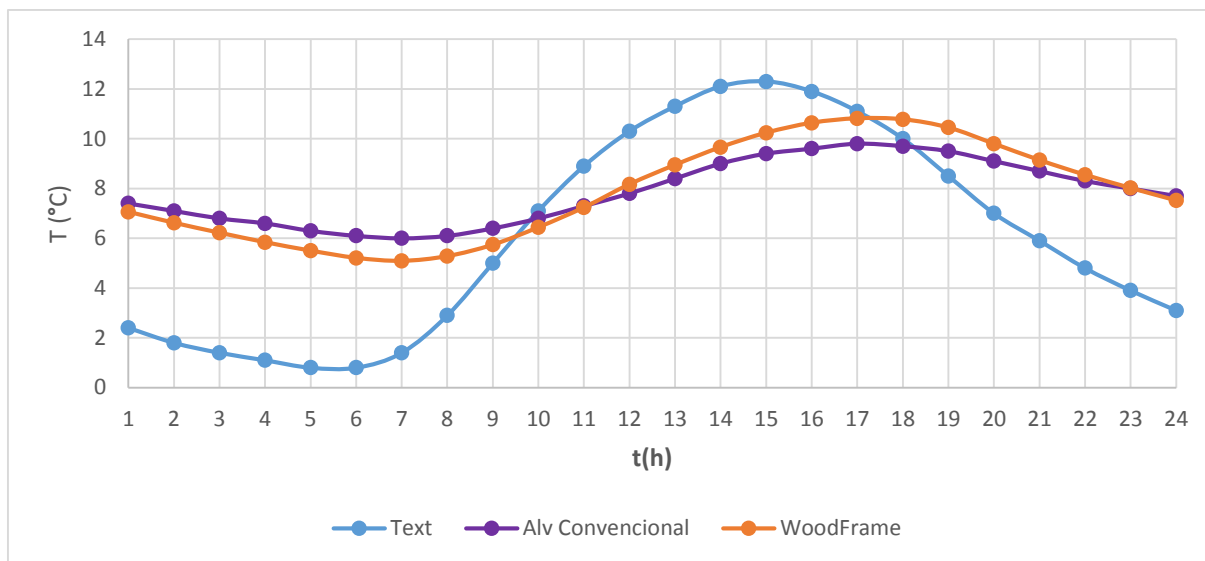


Figura 4.18 Comparação do comportamento térmico do ambiente Sala no dia típico de inverno, entre *Wood Frame* e alvenaria comum, para 1 ren/h – ZB1

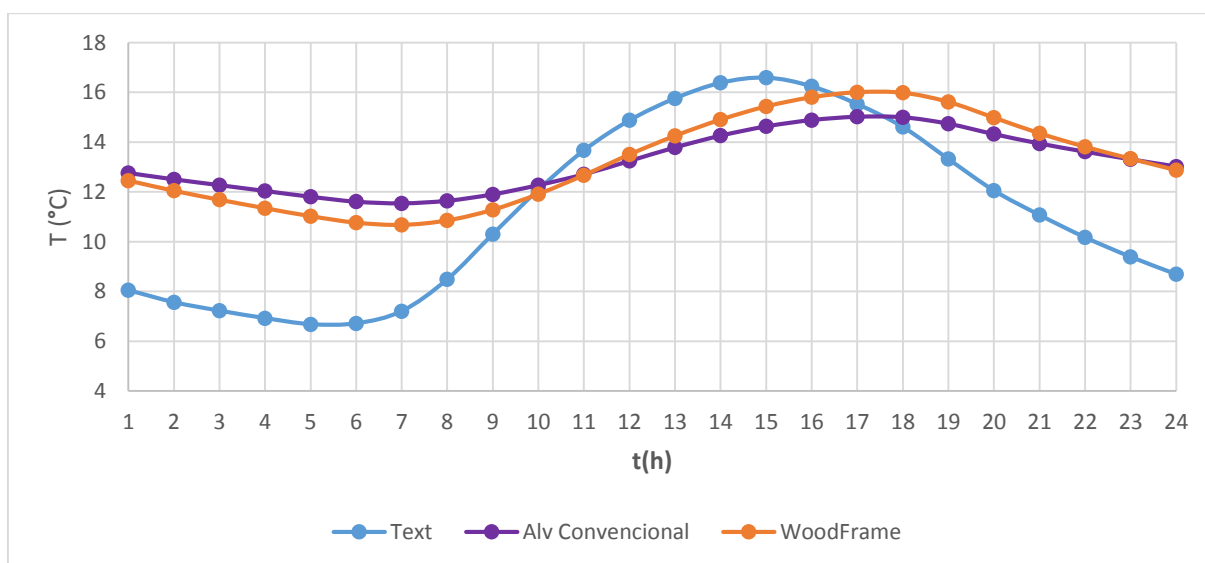


Figura 4.19 Comparação do comportamento térmico do ambiente Sala no dia típico de inverno, entre *Wood Frame* e alvenaria comum, para 1 ren/h – ZB3

Como observado anteriormente, o fechamento em *Wood Frame* proporciona uma amplitude térmica diária da temperatura interna maior se comparada ao fechamento em alvenaria de tijolos cerâmicos, e as temperaturas internas tendem a se aproximar das temperaturas externas.

5. CONCLUSÃO

O *Wood Frame* apresenta inúmeras vantagens em relação a outros sistemas convencionais de construção, como a facilidade de construção, produtividade e racionalização, eficiência, princípios de sustentabilidade e qualidade do produto final. Nesse sentido, a sua aplicação na construção de habitações de interesse social pode ser uma alternativa para solucionar problemas relacionados à qualidade deficitária notada em muitas edificações construídas e o não cumprimento de prazos de entrega. Porém, muitas barreiras ainda devem ser quebradas, como a necessidade de uma normativa brasileira, bem como estudos teóricos e práticos a fim de baratear sua construção e melhorar seu desempenho.

Em relação ao desempenho térmico da edificação, proposta do estudo, o fechamento *Wood Frame*, não atende aos requisitos mínimos para o dia típico de verão segundo as diretrizes de critério mínimo da norma NBR 15575 (ABNT, 2013) para a Zona bioclimática 8. Além disso, atinge resultados próximos aos níveis críticos para as outras zonas (ZB1 e ZB3), necessitando soluções de melhora ainda na fase de projeto, como a incorporação de estratégias passivas adequadas ao clima local. Quando considerada a utilização de sombreamento, indicado pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a edificação apresentou resultados melhores, atendendo os requisitos da norma para todas as zonas simuladas, considerando absorvância solar igual a 0,3. Para outros valores de absorvância, a ZB8 continua a não atender a norma. Em relação ao dia típico de inverno, a edificação atende os requisitos mínimos da norma para as zonas simuladas.

Os resultados obtidos para as alternativas de cor das superfícies externas mostram que as cores ideais para o acabamento da edificação são cores mais claras (absorvância solar igual a 0,3), e conseqüentemente refletoras, a fim de diminuir a absorvância à radiação solar, favorecendo o desempenho térmico, principalmente nas regiões de clima mais quente como é o caso da Zona bioclimática 8. Quanto aos resultados obtidos para as diferentes taxas de ventilação observa-se que as temperaturas internas se aproximam da temperatura externa quando se considera uma taxa de renovação de ar de 5 ren/h. Uma vez que a temperatura interna da casa tende a ser bastante elevada no verão, torna-se interessante a utilização de um maior número de renovações de ar. Quanto aos diferentes tipos de fechamento utilizado,

percebe-se que a temperatura interna no verão com o material de Alvenaria Convencional foi mais baixa que àquela obtida utilizando o sistema *Wood Frame*, na maior parte do dia. Observa-se que o sistema *Wood Frame* tende a proporcionar temperaturas internas mais próximas das temperaturas externas do que a Alvenaria em tijolos cerâmicos, tanto no verão quanto no inverno, confirmando a necessidade de um maior estudo quanto ao isolamento térmico utilizado no fechamento proposto (câmara de ar), visando possíveis alternativas de isolantes térmicos que apresentem um melhor comportamento no sistema a seco.

Além disso, é possível observar que a edificação apresenta uma resposta de desempenho próxima a níveis críticos tanto para a Alvenaria convencional quanto para o *Wood Frame*, o que mostra que provavelmente o modelo arquitetônico não é o ideal. Por se tratar de uma construção de padrão popular que visa um baixo custo, a edificação se encontra sujeita a uma má concepção de projeto podendo afetar na qualidade da edificação, o que é confirmado por seu baixo desempenho térmico observado em ambos fechamentos. Essa constatação também pode ser considerada um dos motivos pelo qual a edificação não atende os critérios da norma na Zona bioclimática 8.

Conclui-se que o fechamento proposto neste trabalho necessita de um maior estudo com a incorporação de outras estratégias passivas além do sombreamento, como materiais isolantes e/ou mudança na arquitetura do projeto. No entanto, a escolha de soluções para o projeto deve contemplar além do desempenho térmico, o custo, a estética, a disponibilidade local do produto e a facilidade de construção. Nesse contexto, a simulação computacional é importante na avaliação do desempenho térmico de edificações para que se possa encontrar as melhores soluções de construção, permitindo avaliar também a viabilidade econômica e de construção.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. Orientador: Ualfrido Del Carlo. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais – Desempenho, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL -Ministério do Planejamento – PAC. 2015. **Minha Casa Minha Vida entrega primeiro residencial com imóveis de madeira**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2015/03/minha-casa-minha-vida-entrega-primeiro-residencial-com-imoveis-de-madeira>. Acesso em: 15 set. 2018.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; TRIBESS, A. Emprego do programa computacional *EnergyPlus* na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário. In: IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 2011, Ouro Preto, MG. **Proceedings** of XXXII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, 2011.

CAIXA Econômica Federal. **Programa minha casa minha vida/FAR**: especificações mínimas. 2014.

CAMARGO T. A.; **Desempenho térmico de habitações de interesse social com a tecnologia Wood Frame na Zona Bioclimática 2: o caso do Residencial Haragano (Pelotas,RS)**. Orientador: Eduardo Grala da Cunha. 2015, 126f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2015.

CARDOSO L. A. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. Orientador: Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos. 2015, 79p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.

CPTEC. **Banco de dados climatológicos**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 11 fev 2019.

CRAWLEY, D. B. *et al.* *EnergyPlus*: Energy Simulation Program. **ASHRAE journal**. Atlanta: ASHRAE, 2000, v.42, p. 49-56.

EMMERICH, S. J.; DOLS, W. S.; AXLEY, J. W. **Natural Ventilation Review and Plan for Design and Analysis Tools**, Colorado. 2001. Disponível em: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build01/PDF/b01073.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2010 *apud* SOUZA, H. A.; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 113-128, out./dez. 2011.

ESCOLA ENGENHARIA. **Wood Frame: o que é, características, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/wood-frame/>. Acesso em: 11 jun. 2019.

FIGUEIREDO, C. M. **Ventilação Natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios – Avaliação com Modelos Adaptativos**. NUTAU/USP - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2008.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, 1992.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em Light Steel Framing**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**, 2012. Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep. Acesso em: 11 fev. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LBNL. **EnergyPlus** – Engineering Document. US Department of Energy, USA. P. 18-61, 2004.

LOPES, A. V.; **Revitalização de uma edificação visando melhorias no desempenho térmico**. Orientador: Henor Artur de Souza. 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Arquitetura e Urbanismo. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MELO, A.; WESTPHAL, F.; MATOS, M. **Apostila do Curso Básico do Programa EnergyPlus. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis, 2009. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf. Acesso em: 03 dez. 2018.

SOUZA, H. A.; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 113-128, out./dez. 2011.

TECVERDE ENGENHARIA S.A.. **DATec N° 20: Sistema Construtivo TECVERDE: “Sistema Leve em Madeira”**. São Paulo, 2018.

TECVERDE ENGENHARIA S.A.. **Desenvolvimento de Tecnologia Wood Frame para Habitações de Interesse Social**. CBIC, 2012.

TECVERDE ENGENHARIA S.A.. **Panorama do Sistema Construtivo Tecverde**. Curitiba, 2016.

VIANA, F. S.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. Residência em contêiner: comparativo de estratégias para a melhoria do desempenho térmico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019014, 2019. ISSN 1980-6809

VITTORINO, F. Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos. In: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. **Anais do Seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica**. São Paulo: IPT, 2005. p. 7-16.

APÊNDICE A

TEMPERATURAS INTERNAS DOS AMBIENTES DE MAIOR PERMANÊNCIA CONSIDERANDO ABSORTÂNCIA 0,3 – CONSTRUÇÃO EM *WOOD FRAME*

Nas Tabelas A.1 a A.11 são apresentados os resultados da simulação numérica realizada em sistema *Wood Frame*. Apresenta-se as temperaturas internas horárias da edificação em estudo para um dia típico de verão, com e sem sombreamento, e para um dia típico de inverno para as 3 Zonas Bioclimáticas analisadas, considerando absorvância a radiação solar de 0,3. Encontram-se destacadas de vermelho as temperaturas que excedem o critério mínimo de desempenho térmico.

ZONA BIOCLIMÁTICA 1

Tabela A.1 – Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB1, considerando 1ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO – 1 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	22,7	27,7	27,1	26,8
02:00	22,2	27,3	26,7	26,3
03:00	21,8	26,9	26,3	26,0
04:00	21,5	26,5	25,9	25,6
05:00	21,3	26,2	25,6	25,3
06:00	21,3	25,9	25,3	25,0
07:00	21,8	25,7	25,3	24,9
08:00	23,1	25,8	25,6	25,1
09:00	25,0	26,2	26,0	25,7
10:00	26,8	26,8	26,7	26,4
11:00	28,4	27,6	27,5	27,3
12:00	29,7	28,3	28,3	28,1
13:00	30,6	29,0	28,9	28,8
14:00	31,2	29,6	29,5	29,4
15:00	31,4	30,2	30,0	29,9
16:00	31,0	30,9	30,3	30,2
17:00	30,3	31,4	30,4	30,3
18:00	29,4	31,7	30,4	30,2
19:00	28,1	31,3	30,1	29,8
20:00	26,8	30,5	29,5	29,2
21:00	25,8	29,8	29,0	28,6
22:00	24,9	29,2	28,4	28,1
23:00	24,1	28,7	28,0	27,6
00:00	23,3	28,2	27,5	27,2

Tabela A.2 - Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB1, considerando 5ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO – 5 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
1:00	22,7	25,8	25,4	25,2
2:00	22,2	25,4	25,0	24,8
3:00	21,8	24,9	24,6	24,4
4:00	21,5	24,5	24,2	24,0
5:00	21,3	24,2	23,9	23,7
6:00	21,3	23,9	23,6	23,5
7:00	21,8	23,9	23,7	23,5
8:00	23,1	24,4	24,3	24,0
9:00	25,0	25,2	25,2	25,0
10:00	26,8	26,3	26,3	26,1
11:00	28,4	27,4	27,4	27,3
12:00	29,7	28,3	28,4	28,3
13:00	30,6	29,1	29,1	29,1
14:00	31,2	29,8	29,8	29,8
15:00	31,4	30,4	30,2	30,2
16:00	31,0	30,8	30,4	30,4
17:00	30,3	30,9	30,2	30,2
18:00	29,4	30,8	29,9	29,8
19:00	28,1	30,1	29,3	29,1
20:00	26,8	29,1	28,5	28,3
21:00	25,8	28,3	27,7	27,6
22:00	24,9	27,6	27,1	26,9
23:00	24,1	27,0	26,5	26,3
0:00	23,3	26,4	25,9	25,8

Tabela A.3 - Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB1, considerando 5ren/h, com sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO – 5 ren/h - Com Sombreamento				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
1:00	22,7	26,2	26,2	26,1
2:00	22,2	25,8	25,8	25,7
3:00	21,8	25,5	25,5	25,3
4:00	21,5	25,2	25,2	25,0
5:00	21,3	24,9	24,9	24,7
6:00	21,3	24,7	24,7	24,6
7:00	21,8	24,8	24,7	24,6
8:00	23,1	25,2	25,2	25,0
9:00	25,0	26,0	26,0	25,9
10:00	26,8	26,9	27,0	26,9
11:00	28,4	27,9	28,0	27,9
12:00	29,7	28,7	28,8	28,8
13:00	30,6	29,4	29,6	29,5
14:00	31,2	30,0	30,1	30,1
15:00	31,4	30,5	30,5	30,5
16:00	31,0	30,6	30,7	30,7
17:00	30,3	30,5	30,5	30,5
18:00	29,4	30,2	30,2	30,1
19:00	28,1	29,6	29,6	29,5
20:00	26,8	28,9	28,8	28,7
21:00	25,8	28,3	28,2	28,1
22:00	24,9	27,7	27,7	27,5
23:00	24,1	27,2	27,1	27,0
0:00	23,3	26,7	26,7	26,5

Tabela A.4 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de inverno na ZB1, considerando 1ren/h - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE INVERNO – 1 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	2,4	7,1	7,2	7,2
02:00	1,8	6,6	6,7	6,7
03:00	1,4	6,2	6,3	6,3
04:00	1,1	5,8	5,9	5,9
05:00	0,8	5,5	5,6	5,5
06:00	0,8	5,2	5,2	5,2
07:00	1,4	5,1	5,2	5,0
08:00	2,9	5,3	5,6	5,2
09:00	5,0	5,7	6,4	5,6
10:00	7,1	6,4	7,3	6,4
11:00	8,9	7,2	8,2	7,2
12:00	10,3	8,2	9,0	8,2
13:00	11,3	9,0	9,7	9,0
14:00	12,1	9,7	10,3	9,8
15:00	12,3	10,2	10,8	10,6
16:00	11,9	10,6	11,1	11,3
17:00	11,1	10,8	11,2	11,7
18:00	10,0	10,8	11,0	11,6
19:00	8,5	10,5	10,5	11,1
20:00	7,0	9,8	9,8	10,3
21:00	5,9	9,1	9,2	9,5
22:00	4,9	8,6	8,7	8,8
23:00	3,9	8,0	8,1	8,3
00:00	3,1	7,5	7,6	7,7

ZONA BIOCLIMÁTICA 3

Tabela A.5 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB3, considerando 1ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO - 1 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	24,0	28,1	27,9	27,6
02:00	23,6	27,7	27,5	27,2
03:00	23,3	27,4	27,2	26,9
04:00	23,0	27,1	26,9	26,6
05:00	22,8	26,8	26,6	26,3
06:00	22,8	26,5	26,4	26,0
07:00	23,3	26,4	26,3	26,0
08:00	24,4	26,6	26,5	26,2
09:00	26,1	27,0	27,0	26,6
10:00	27,8	27,5	27,6	27,3
11:00	29,2	28,2	28,4	28,1
12:00	30,3	29,0	29,1	28,9
13:00	31,1	29,6	29,7	29,5
14:00	31,7	30,1	30,3	30,1
15:00	31,9	30,7	30,7	30,6
16:00	31,6	31,2	31,0	30,8
17:00	30,9	31,4	31,1	30,9
18:00	30,1	31,4	31,0	30,7
19:00	28,9	31,0	30,7	30,3
20:00	27,7	30,4	30,1	29,8
21:00	26,8	29,8	29,6	29,2
22:00	26,0	29,4	29,1	28,8
23:00	25,3	28,9	28,7	28,4
00:00	24,6	28,5	28,3	28,0

Tabela A.6 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB3, considerando 5ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO - 5 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
1:00	24,0	26,6	26,4	26,2
2:00	23,6	26,2	26,0	25,8
3:00	23,3	25,8	25,7	25,5
4:00	23,0	25,5	25,3	25,2
5:00	22,8	25,2	25,0	24,9
6:00	22,8	25,0	24,8	24,7
7:00	23,3	25,0	24,9	24,7
8:00	24,4	25,4	25,4	25,2
9:00	26,1	26,2	26,2	26,1
10:00	27,8	27,2	27,3	27,1
11:00	29,2	28,2	28,3	28,2
12:00	30,3	29,1	29,2	29,1
13:00	31,1	29,8	29,9	29,9
14:00	31,7	30,4	30,5	30,5
15:00	31,9	30,9	30,9	30,9
16:00	31,6	31,2	31,0	31,0
17:00	30,9	31,1	30,9	30,8
18:00	30,1	30,9	30,6	30,4
19:00	28,9	30,2	30,0	29,8
20:00	27,7	29,4	29,2	29,0
21:00	26,8	28,7	28,5	28,3
22:00	26,0	28,1	27,9	27,8
23:00	25,3	27,6	27,4	27,2
0:00	24,6	27,1	26,9	26,7

Tabela A.7 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB3, considerando 5ren/h, com sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO - 5 ren/h – Com Sombreamento				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
1:00	24,0	29,6	29,6	29,4
2:00	23,6	29,2	29,2	29,0
3:00	23,3	28,8	28,8	28,6
4:00	23,0	28,5	28,5	28,3
5:00	22,8	28,2	28,2	28,0
6:00	22,8	28,0	28,0	27,8
7:00	23,3	28,0	28,0	27,8
8:00	24,4	28,3	28,4	28,2
9:00	26,1	29,1	29,3	29,1
10:00	27,8	30,1	30,5	30,2
11:00	29,2	31,2	31,6	31,3
12:00	30,3	32,1	32,5	32,3
13:00	31,1	32,9	33,3	33,0
14:00	31,7	33,5	33,9	33,7
15:00	31,9	34,0	34,3	34,1
16:00	31,6	34,2	34,5	34,2
17:00	30,9	34,2	34,4	34,0
18:00	30,1	33,9	34,0	33,6
19:00	28,9	33,2	33,3	32,9
20:00	27,7	32,4	32,4	32,1
21:00	26,8	31,7	31,8	31,5
22:00	26,0	31,1	31,2	30,9
23:00	25,3	30,6	30,6	30,4
0:00	24,6	30,1	30,1	29,9

Tabela A.8 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de inverno na ZB3, considerando 1ren/h - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE INVERNO – 1 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
1:00	8,1	12,5	12,6	12,7
2:00	7,6	12,1	12,2	12,2
3:00	7,2	11,7	11,8	11,8
4:00	6,9	11,4	11,5	11,4
5:00	6,7	11,0	11,1	11,1
6:00	6,7	10,8	10,9	10,8
7:00	7,2	10,7	10,9	10,7
8:00	8,5	10,9	11,3	10,8
9:00	10,3	11,3	12,1	11,2
10:00	12,1	11,9	12,9	11,9
11:00	13,7	12,7	13,8	12,7
12:00	14,9	13,5	14,5	13,6
13:00	15,8	14,3	15,1	14,4
14:00	16,4	14,9	15,7	15,1
15:00	16,6	15,4	16,1	15,9
16:00	16,3	15,8	16,4	16,6
17:00	15,5	16,0	16,4	17,0
18:00	14,6	16,0	16,2	16,9
19:00	13,3	15,6	15,7	16,4
20:00	12,1	15,0	15,1	15,5
21:00	11,1	14,4	14,5	14,8
22:00	10,2	13,8	14,0	14,2
23:00	9,4	13,3	13,5	13,6
0:00	8,7	12,9	13,1	13,1

ZONA BIOCLIMÁTICA 8

Tabela A.9 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB8, considerando 1ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO - 1 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	27,1	32,0	32,2	31,3
02:00	26,7	31,6	31,8	30,9
03:00	26,4	31,2	31,4	30,5
04:00	26,1	30,9	31,1	30,2
05:00	25,9	30,5	30,7	29,9
06:00	25,9	30,3	30,4	29,6
07:00	26,4	30,1	30,2	29,5
08:00	27,5	30,2	30,5	29,6
09:00	29,2	30,5	31,1	30,1
10:00	30,8	31,1	32,0	30,9
11:00	32,2	31,9	32,9	31,9
12:00	33,3	32,7	33,8	32,7
13:00	34,1	33,5	34,7	33,4
14:00	34,7	34,1	35,4	34,1
15:00	34,9	34,8	36,0	34,6
16:00	34,6	35,5	36,3	34,8
17:00	33,9	35,9	36,4	34,9
18:00	33,1	35,8	36,2	34,6
19:00	31,9	35,2	35,5	34,2
20:00	30,8	34,5	34,8	33,6
21:00	29,9	33,9	34,2	33,0
22:00	29,1	33,4	33,7	32,5
23:00	28,3	32,9	33,2	32,1
00:00	27,7	32,4	32,7	31,7

Tabela A.10 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB8, considerando 5ren/h, sem sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO – 5 ren/h				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	27,1	30,0	30,1	29,5
02:00	26,7	29,5	29,6	29,1
03:00	26,4	29,1	29,2	28,7
04:00	26,1	28,8	28,8	28,4
05:00	25,9	28,5	28,5	28,1
06:00	25,9	28,2	28,3	27,9
07:00	26,4	28,2	28,3	27,9
08:00	27,5	28,6	28,8	28,3
09:00	29,2	29,4	29,8	29,3
10:00	30,8	30,4	30,9	30,4
11:00	32,2	31,5	32,1	31,6
12:00	33,3	32,4	33,1	32,5
13:00	34,1	33,2	34,0	33,3
14:00	34,7	33,9	34,7	33,9
15:00	34,9	34,5	35,2	34,4
16:00	34,6	34,8	35,3	34,5
17:00	33,9	34,9	35,2	34,3
18:00	33,1	34,6	34,8	33,9
19:00	31,9	33,8	34,0	33,2
20:00	30,8	32,9	33,1	32,4
21:00	29,9	32,2	32,4	31,7
22:00	29,1	31,6	31,7	31,1
23:00	28,3	31,0	31,1	30,5
00:00	27,7	30,5	30,6	30,0

Tabela A.11 Temperatura interna horária dos cômodos de maior permanência para um dia típico de verão na ZB8, considerando 5ren/h, com sombreamento - Construção em *Wood Frame*

DIA TÍPICO DE VERÃO – 5 ren/h - Com Sombreamento				
Hora	Text	SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
01:00	27,1	29,6	29,6	29,4
02:00	26,7	29,2	29,2	29,0
03:00	26,4	28,8	28,8	28,6
04:00	26,1	28,5	28,5	28,3
05:00	25,9	28,2	28,2	28,0
06:00	25,9	28,0	28,0	27,8
07:00	26,4	28,0	28,0	27,8
08:00	27,5	28,3	28,4	28,2
09:00	29,2	29,1	29,3	29,1
10:00	30,8	30,1	30,5	30,2
11:00	32,2	31,2	31,6	31,3
12:00	33,3	32,1	32,5	32,3
13:00	34,1	32,9	33,3	33,0
14:00	34,7	33,5	33,9	33,7
15:00	34,9	34,0	34,3	34,1
16:00	34,6	34,2	34,5	34,2
17:00	33,9	34,2	34,4	34,0
18:00	33,1	33,9	34,0	33,6
19:00	31,9	33,2	33,3	32,9
20:00	30,8	32,4	32,4	32,1
21:00	29,9	31,7	31,8	31,5
22:00	29,1	31,1	31,2	30,9
23:00	28,3	30,6	30,6	30,4
00:00	27,7	30,1	30,1	29,9

APÊNDICE B

RESULTADOS – COMPARAÇÃO HORÁRIA DAS TEMPERATURAS INTERNAS DAS ZONAS DE PERMANÊNCIA PROLONGADA CONSIDERANDO ABSORTÂNCIA 0,3, 0,5 E 0,7 NO DIA TÍPICO DE VERÃO – CONSTRUÇÃO EM WOOD FRAME.

ZONA BIOCLIMÁTICA 1

Tabela B.1 Temperatura interna da Sala considerando absorvância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

SALA				
Hora	Text	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	22,7	25,8	25,9	26,0
2:00	22,2	25,4	25,4	25,5
3:00	21,8	24,9	25,0	25,0
4:00	21,5	24,5	24,6	24,6
5:00	21,3	24,2	24,2	24,3
6:00	21,3	23,9	24,0	24,0
7:00	21,8	23,9	24,0	24,0
8:00	23,1	24,4	24,4	24,5
9:00	25,0	25,2	25,3	25,3
10:00	26,8	26,3	26,4	26,4
11:00	28,4	27,4	27,5	27,5
12:00	29,7	28,3	28,4	28,5
13:00	30,6	29,1	29,3	29,4
14:00	31,2	29,8	29,9	30,1
15:00	31,4	30,4	30,5	30,6
16:00	31,0	30,8	30,9	31,1
17:00	30,3	30,9	31,1	31,3
18:00	29,4	30,8	31,0	31,2
19:00	28,1	30,1	30,3	30,5
20:00	26,8	29,1	29,3	29,5
21:00	25,8	28,3	28,5	28,6
22:00	24,9	27,6	27,7	27,8
23:00	24,1	27,0	27,1	27,2
0:00	23,3	26,4	26,5	26,6

Tabela B.2 Temperatura interna do Quarto 1 considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 1				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	22,7	25,4	25,5	25,5
2:00	22,2	25,0	25,0	25,0
3:00	21,8	24,6	24,6	24,6
4:00	21,5	24,2	24,2	24,3
5:00	21,3	23,9	23,9	23,9
6:00	21,3	23,6	23,7	23,7
7:00	21,8	23,7	23,7	23,8
8:00	23,1	24,3	24,3	24,4
9:00	25,0	25,2	25,3	25,3
10:00	26,8	26,3	26,4	26,5
11:00	28,4	27,4	27,5	27,7
12:00	29,7	28,4	28,5	28,6
13:00	30,6	29,1	29,3	29,4
14:00	31,2	29,8	29,9	30,0
15:00	31,4	30,2	30,4	30,5
16:00	31,0	30,4	30,5	30,6
17:00	30,3	30,2	30,3	30,5
18:00	29,4	29,9	30,1	30,2
19:00	28,1	29,3	29,4	29,6
20:00	26,8	28,5	28,6	28,7
21:00	25,8	27,7	27,8	27,9
22:00	24,9	27,1	27,2	27,3
23:00	24,1	26,5	26,6	26,6
0:00	23,3	25,9	26,0	26,1

Tabela B.3 Temperatura interna do Quarto 2 considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 2				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	22,7	25,2	25,3	25,3
2:00	22,2	24,8	24,8	24,9
3:00	21,8	24,4	24,4	24,4
4:00	21,5	24,0	24,0	24,1
5:00	21,3	23,7	23,7	23,7
6:00	21,3	23,5	23,5	23,5
7:00	21,8	23,5	23,5	23,6
8:00	23,1	24,0	24,1	24,1
9:00	25,0	25,0	25,1	25,1
10:00	26,8	26,1	26,3	26,4
11:00	28,4	27,3	27,5	27,6
12:00	29,7	28,3	28,5	28,6
13:00	30,6	29,1	29,3	29,4
14:00	31,2	29,8	29,9	30,1
15:00	31,4	30,2	30,4	30,5
16:00	31,0	30,4	30,5	30,7
17:00	30,3	30,2	30,4	30,5
18:00	29,4	29,8	30,0	30,1
19:00	28,1	29,1	29,3	29,4
20:00	26,8	28,3	28,4	28,5
21:00	25,8	27,6	27,7	27,7
22:00	24,9	26,9	27,0	27,1
23:00	24,1	26,3	26,4	26,4
0:00	23,3	25,8	25,8	25,9

ZONA BIOCLIMÁTICA 3

Tabela B.4 Temperatura interna da Sala considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

SALA				
Hora	Text	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	24,0	26,6	26,6	26,7
2:00	23,6	26,2	26,2	26,3
3:00	23,3	25,8	25,8	25,9
4:00	23,0	25,5	25,5	25,5
5:00	22,8	25,2	25,2	25,2
6:00	22,8	25,0	25,0	25,0
7:00	23,3	25,0	25,0	25,0
8:00	24,4	25,4	25,4	25,5
9:00	26,1	26,2	26,2	26,3
10:00	27,8	27,2	27,2	27,3
11:00	29,2	28,2	28,3	28,3
12:00	30,3	29,1	29,2	29,2
13:00	31,1	29,8	29,9	30,0
14:00	31,7	30,4	30,5	30,6
15:00	31,9	30,9	31,0	31,1
16:00	31,6	31,2	31,3	31,4
17:00	30,9	31,1	31,3	31,4
18:00	30,1	30,9	31,0	31,2
19:00	28,9	30,2	30,3	30,5
20:00	27,7	29,4	29,5	29,6
21:00	26,8	28,7	28,8	28,9
22:00	26,0	28,1	28,2	28,3
23:00	25,3	27,6	27,6	27,7
0:00	24,6	27,1	27,1	27,2

Tabela B.5 Temperatura interna do Quarto 1 considerando absorvância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 1				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	24,0	26,4	26,5	26,5
2:00	23,6	26,0	26,1	26,1
3:00	23,3	25,7	25,7	25,7
4:00	23,0	25,3	25,4	25,4
5:00	22,8	25,0	25,1	25,1
6:00	22,8	24,8	24,9	24,9
7:00	23,3	24,9	24,9	25,0
8:00	24,4	25,4	25,4	25,5
9:00	26,1	26,2	26,3	26,4
10:00	27,8	27,3	27,4	27,5
11:00	29,2	28,3	28,5	28,6
12:00	30,3	29,2	29,4	29,5
13:00	31,1	29,9	30,1	30,2
14:00	31,7	30,5	30,7	30,9
15:00	31,9	30,9	31,1	31,3
16:00	31,6	31,0	31,2	31,4
17:00	30,9	30,9	31,1	31,3
18:00	30,1	30,6	30,8	30,9
19:00	28,9	30,0	30,1	30,3
20:00	27,7	29,2	29,3	29,4
21:00	26,8	28,5	28,6	28,7
22:00	26,0	27,9	28,0	28,1
23:00	25,3	27,4	27,5	27,6
0:00	24,6	26,9	27,0	27,0

Tabela B.6 Temperatura interna do Quarto 2 considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 2				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	24,0	26,2	26,3	26,3
2:00	23,6	25,8	25,9	25,9
3:00	23,3	25,5	25,5	25,5
4:00	23,0	25,2	25,2	25,2
5:00	22,8	24,9	24,9	24,9
6:00	22,8	24,7	24,7	24,7
7:00	23,3	24,7	24,7	24,8
8:00	24,4	25,2	25,2	25,3
9:00	26,1	26,1	26,1	26,2
10:00	27,8	27,1	27,3	27,4
11:00	29,2	28,2	28,3	28,5
12:00	30,3	29,1	29,3	29,4
13:00	31,1	29,9	30,0	30,1
14:00	31,7	30,5	30,6	30,7
15:00	31,9	30,9	31,0	31,2
16:00	31,6	31,0	31,1	31,3
17:00	30,9	30,8	31,0	31,1
18:00	30,1	30,4	30,6	30,7
19:00	28,9	29,8	29,9	30,0
20:00	27,7	29,0	29,1	29,2
21:00	26,8	28,3	28,4	28,5
22:00	26,0	27,8	27,8	27,9
23:00	25,3	27,2	27,3	27,3
0:00	24,6	26,7	26,8	26,8

ZONA BIOCLIMÁTICA 8

Tabela B.7 Temperatura interna da Sala considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

SALA				
Hora	Text	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	27,1	30,0	30,1	30,1
2:00	26,7	29,5	29,6	29,7
3:00	26,4	29,1	29,2	29,3
4:00	26,1	28,8	28,8	28,9
5:00	25,9	28,5	28,5	28,6
6:00	25,9	28,2	28,3	28,3
7:00	26,4	28,2	28,3	28,3
8:00	27,5	28,6	28,6	28,7
9:00	29,2	29,4	29,5	29,5
10:00	30,8	30,4	30,5	30,6
11:00	32,2	31,5	31,6	31,7
12:00	33,3	32,4	32,6	32,7
13:00	34,1	33,2	33,4	33,6
14:00	34,7	33,9	34,1	34,3
15:00	34,9	34,5	34,7	35,0
16:00	34,6	34,8	35,2	35,4
17:00	33,9	34,9	35,3	35,6
18:00	33,1	34,6	35,0	35,3
19:00	31,9	33,8	34,1	34,3
20:00	30,8	32,9	33,2	33,4
21:00	29,9	32,2	32,4	32,6
22:00	29,1	31,6	31,7	31,9
23:00	28,3	31,0	31,1	31,2
0:00	27,7	30,5	30,6	30,7

Tabela B.8 Temperatura interna do Quarto 1 considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 1				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	27,1	30,1	30,2	30,3
2:00	26,7	29,6	29,7	29,8
3:00	26,4	29,2	29,3	29,4
4:00	26,1	28,8	28,9	29,0
5:00	25,9	28,5	28,6	28,6
6:00	25,9	28,3	28,3	28,4
7:00	26,4	28,3	28,3	28,4
8:00	27,5	28,8	28,9	28,9
9:00	29,2	29,8	30,0	30,1
10:00	30,8	30,9	31,3	31,5
11:00	32,2	32,1	32,5	32,9
12:00	33,3	33,1	33,6	34,0
13:00	34,1	34,0	34,4	34,8
14:00	34,7	34,7	35,2	35,6
15:00	34,9	35,2	35,7	36,1
16:00	34,6	35,3	35,9	36,3
17:00	33,9	35,2	35,7	36,1
18:00	33,1	34,8	35,2	35,6
19:00	31,9	34,0	34,3	34,7
20:00	30,8	33,1	33,4	33,7
21:00	29,9	32,4	32,6	32,8
22:00	29,1	31,7	32,0	32,1
23:00	28,3	31,1	31,3	31,5
0:00	27,7	30,6	30,8	30,9

Tabela B.9 Temperatura interna do Quarto 2 considerando absorptância 0,3, 0,5 e 0,7 no dia típico de verão - Construção em *Wood Frame*

QUARTO 2				
Hora	T _{ext}	$\alpha = 03$	$\alpha = 05$	$\alpha = 07$
1:00	27,1	29,5	29,6	29,7
2:00	26,7	29,1	29,2	29,2
3:00	26,4	28,7	28,8	28,8
4:00	26,1	28,4	28,4	28,5
5:00	25,9	28,1	28,1	28,1
6:00	25,9	27,9	27,9	27,9
7:00	26,4	27,9	27,9	27,9
8:00	27,5	28,3	28,4	28,4
9:00	29,2	29,3	29,4	29,5
10:00	30,8	30,4	30,7	30,9
11:00	32,2	31,6	31,9	32,1
12:00	33,3	32,5	32,9	33,1
13:00	34,1	33,3	33,6	33,9
14:00	34,7	33,9	34,3	34,6
15:00	34,9	34,4	34,7	35,0
16:00	34,6	34,5	34,8	35,1
17:00	33,9	34,3	34,6	34,9
18:00	33,1	33,9	34,2	34,4
19:00	31,9	33,2	33,4	33,6
20:00	30,8	32,4	32,6	32,7
21:00	29,9	31,7	31,9	32,0
22:00	29,1	31,1	31,2	31,3
23:00	28,3	30,5	30,6	30,7
0:00	27,7	30,0	30,1	30,2