



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRENO HENRIQUE PROTÁSIO DA SILVA

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAREDES
PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE
BARREIRAS, BAHIA

BARREIRAS-BA

2021

BRENO HENRIQUE PROTÁSIO DA SILVA

**SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAREDES
PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE
BARREIRAS, BAHIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: D.Sc. Elier Pavón de la Fé

BARREIRAS-BA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S586

Silva, Breno Henrique Protásio da

Simulação do comportamento térmico de paredes para as condições climáticas do município de Barreiras, Bahia. / Breno Henrique Protásio da Silva. – 2021.

109f.: il

Orientador: Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias - Barreiras, BA, 2021.

1. Engenharia Civil. I. De la Fé, Elier Pavón. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

Biblioteca Universitária de Barreiras – UFOB

BRENO HENRIQUE PROTÁSIO DA SILVA

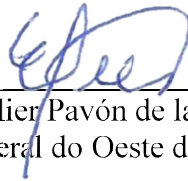
**SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAREDES
PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE
BARREIRAS, BAHIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do
grau de Engenheiro Civil.

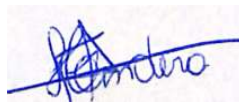
Aprovado em 11 de dezembro de 2021.

Banca Examinadora

Orientador:



Professor D.Sc. Elier Pavón de la Fé
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Eng.^a Civil Hindira Feitoza de Araújo
Membro externo



Professor M.Sc. Cláudio Alex de Oliveira Pires
Universidade Federal do Oeste da Bahia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conduzir e permitir chegar até este momento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé, por todo apoio, confiança, comprometimento, e dedicação, durante todo o curso e principalmente durante a elaboração deste trabalho.

À minha família, minha mãe, Suely, meu pai, Carlos, por todo incentivo, apoio, amor, conversas, dedicação e suporte para que eu pudesse concluir essa etapa, sem vocês não seria possível.

Ao meu irmão, Gabriel, pelas cobranças, pelo apoio, pelas conversas, pela inspiração, e por toda contribuição que me deu na realização deste trabalho.

À minha namorada, Ana Carolina, por todo apoio, dedicação, amor, carinho, compreensão, paciência e incentivo, em todos os momentos.

Aos meus amigos Arthur França, Bruno Amarante, André Carlos, Frederick Coutinho, Lucas Lima, Thulyo Humberto, por toda a amizade e convivência durante esses anos, todas as resenhas, e momentos vividos.

Ao meu amigo irmão, Felipe Marques, por toda a amizade, parceria, conselhos, ajudas, resenhas, confraternizações e jogatinas.

A todos os colegas e professores que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, me apoiaram e me incentivaram na realização deste trabalho.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Com o alto consumo de energia elétrica promovido pelas edificações, torna-se necessário o desenvolvimento de edificações com maior eficiência energética, entretanto, além de eficientes, estas devem ser confortáveis para seus ocupantes. Em um contexto em que o adequado desempenho térmico associa estas duas características, o conhecimento acerca de como os componentes construtivos de uma edificação se comportam termicamente em um determinado clima, é imprescindível para o desenvolvimento de edificações mais econômicas e confortáveis. Diante desta premissa, o presente estudo baseia-se no trabalho de Araújo (2018), o qual propôs e analisou 29 diferentes paredes para as condições climáticas do município de Barreiras-Ba por meio do procedimento simplificado da NBR 15575-1. O presente trabalho teve como objetivo analisar, por meio das cargas térmicas obtidas pelo programa *EnergyPlus*, o desempenho térmico, e a influência da variação dos parâmetros orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais, de seis paredes, dentre as 29 analisadas por Araújo (2018), submetidas às condições climáticas do município de Barreiras-Ba, utilizando para isso um modelo de simulações com superfícies adiabáticas que possibilitasse a avaliação de uma única parede. Foram realizadas duas etapas de simulações, sendo a primeira correspondente à simulação das seis paredes com parâmetros fixos, e a segunda à realização de simulações paramétricas, com uma nova simulação para cada combinação de parâmetro, sendo os parâmetros orientação e absorvância variados em dois e três níveis respectivamente, e a espessura dos materiais variada em três níveis para cada material que compunha uma parede. Com os resultados das cargas térmicas de cada simulação, foram realizadas comparações, e uma análise de variância (ANOVA) seguida por teste de comparações de médias. Os resultados obtidos permitiram concluir que as duas paredes comumente utilizadas no município apresentaram os maiores valores de carga térmica dentre todas as paredes analisadas, configurando assim os piores desempenhos, apesar destas atenderem os critérios da NBR 15575-4. As paredes que possuíam materiais isolantes em sua composição (EPS e painel semirrígido de lã de vidro) resultaram nas menores cargas térmicas, sendo consideradas as de melhor desempenho. No modelo de simulações utilizado e clima adotado, a análise do desempenho térmico por cargas térmicas mostrou estar diretamente relacionada com a transmitância térmica das paredes, diferentemente da capacidade térmica, a qual não foi possível ter suas variações associadas a esta variável de resposta, mesmo apresentando influência significativa pela análise de variância. O parâmetro orientação solar apresentou influência significativa na carga térmica em quase todas as paredes, com médias significativamente diferentes para cada valor adotado, resultando em um percentual de redução na carga térmica de resfriamento (CgTR) ao mudar a orientação de oeste para sul entre 8,81% e 9,73%. O parâmetro absorvância térmica apresentou influência significativa na CgTR em todas as paredes, apresentando médias significativamente diferentes em quase todos os valores adotados, resultando em um percentual na CgTR até quatro vezes maior que o obtido pela mudança da orientação de oeste para sul. O aumento de espessura de todos os materiais resultou em um decréscimo na CgTR média, entretanto somente o EPS e o painel semirrígido de lã de vidro (PLV) apresentaram influência significativa na CgTR, com médias de CgTR significativamente diferentes para todas as espessuras utilizadas, resultando em um percentual máximo de redução na CgTR de 49,50% para a variação de 0,50 cm para 3,00 cm de EPS, e 48,16% para a variação de 2,50 cm para 7,50 cm de PLV.

Palavras-chave: simulação computacional; desempenho térmico; cargas térmicas; paredes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes da radiação solar	18
Figura 2 - Translação da terra e localização dos trópicos	19
Figura 3 - Carta solar.....	20
Figura 4 - Perfis de insolação para diferentes orientações de fachada ao longo do dia	20
Figura 5 - Carta Bioclimática de Olgyay (1963).....	23
Figura 6 - Carta bioclimática adotada para o Brasil.....	23
Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro	25
Figura 8 - Carta bioclimática adaptada e suas estratégias de condicionamento térmico passivo.....	29
Figura 9 - Região e Carta Bioclimática compreendidas pela zona bioclimática 7	30
Figura 10 - Quantidade de horas de desconforto anual para diferentes simulações realizadas	38
Figura 11 - Variação do consumo anual de energia elétrica para os dez modelos simulados.....	40
Figura 12 - Consumo energético referente a diferentes SVVE com diferentes absorptâncias.....	42
Figura 13 - Modelagem do ambiente modelo de testes.....	45
Figura 14 - Fluxograma resumo das definições do modelo simulado.....	46
Figura 15 - Fluxograma de combinações de parâmetros para as simulações paramétricas da Parede	151
Figura 16 - Fluxograma de combinações de parâmetros para as simulações paramétricas da Parede	251
Figura 17 - Fluxograma das simulações paramétricas	52
Figura 18 - Fluxograma resumo das etapas de simulações	53
Figura 19 - Principais etapas de modelagem do ambiente no programa <i>SketchUp</i>	54
Figura 20 - Interface do programa <i>EnergyPlus (EP-Launch)</i> e <i>IDF Editor</i>	56
Figura 21 - Modelo de espessura equivalente para uso no <i>EnergyPlus</i>	57
Figura 22 - Paredes utilizadas nos estudos de caso: orientação e absorptância	73
Figura 23 - Paredes utilizadas no estudo de caso: espessura dos materiais.....	74
Figura 24 – Análise do comportamento térmico referente aos parâmetros orientação e absorptância ...	75
Figura 25 – Análise do comportamento térmico referente a inserção de um material isolante	77
Figura 26 - Classe <i>Building</i>	88
Figura 27 - Classe <i>Site:Location</i>	88
Figura 28 - Classe <i>RunPeriod</i>	88
Figura 29 - Classe <i>BuildingSurface:Detailed</i>	89
Figura 30 - Classe <i>HVACTemplate:Thermostat</i>	89
Figura 31 - Classe <i>HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem</i>	89
Figura 32 - Classe <i>Output:Variable</i>	89
Figura 33 - Detalhamento para identificação de parâmetros das simulações paramétricas	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas U ($W/m^2.K$)	27
Tabela 2 - Capacidade térmica C_T ($kJ/m^2.K$)	27
Tabela 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	28
Tabela 4 - Critério de avaliação para desempenho térmico para condições de inverno.....	28
Tabela 5 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7	30
Tabela 6 - Valores recomendados para as diretrizes construtivas da zona bioclimática 7	30
Tabela 7 – Critérios e propriedades térmicas das paredes escolhidas para análise	47
Tabela 8 - Resultados da ANOVA para os parâmetros orientação e absorvância para cada parede.....	67
Tabela 9 - Teste de Tukey para resultados significativos dos parâmetros orientação e absorvância e percentual médio de redução de C_{gTR}	68
Tabela 10 - Resultados da ANOVA para as variações de espessura dos materiais de cada parede.....	70
Tabela 11 - Teste de Tukey para resultados significativos dos materiais e percentual médio de redução devido as variações de espessuras	71
Tabela 12 - Variáveis de resposta para análise do comportamento térmico das paredes	73
Tabela 13 - Resultado da ANOVA para transmitância térmica e capacidade térmica.....	78
Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas.....	95
Tabela 15 - Teste de Tukey para capacidade térmica.....	106
Tabela 16 - Teste de Tukey para transmitância térmica.....	108

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	CONFORTO TÉRMICO.....	15
2.1.1	Variáveis do conforto térmico.....	16
2.2	BIOCLIMATOLOGIA.....	17
2.2.1	Variáveis do clima.....	18
2.2.2	Estratégias bioclimáticas.....	22
2.2.3	Zoneamento bioclimático.....	24
2.3	DESEMPENHO TÉRMICO.....	25
2.3.1	NBR 15575.....	26
2.3.2	NBR 15220.....	28
2.3.2.1	NBR 15220-3.....	29
2.3.3	RTQ-R.....	31
2.3.4	Propriedades térmicas dos materiais.....	32
2.4	SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	34
2.4.1	Importância das simulações.....	34
2.4.2	Programas de simulação.....	35
2.4.3	Desempenho térmico de edificações por meio de simulação computacional.....	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	MODELO DE TESTES SIMULADO.....	44
3.2	COMPOSIÇÕES DE PAREDES.....	46
3.3	PARÂMETROS ANALISADOS.....	48
3.4	PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....	48

3.4.1	Etapas de simulação	49
3.4.1.1	Primeira etapa	49
3.4.1.2	Segunda etapa	50
3.4.2	Realização das simulações	54
3.4.2.1	Modelagem do ambiente	54
3.4.2.2	Definição do arquivo climático	55
3.4.2.3	Configurações de simulação	56
3.5	ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)	58
3.6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES COM PARÂMETROS FIXOS	60
4.2	ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS	61
4.2.1	Orientação e absorância	61
4.2.2	Materiais	63
4.2.3	Análise estatística	66
4.2.3.1	ANOVA - Orientação solar e absorância	66
4.2.3.2	Teste de Tukey - Orientação solar e absorância	67
4.2.3.3	ANOVA - Materiais	69
4.2.3.4	Teste de Tukey - Materiais	70
4.3	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO	73
4.3.1	Orientação e absorância	74
4.3.2	Espessura dos materiais	76
4.3.3	Análise de capacidade térmica e transmitância térmica	78
5	CONCLUSÃO	80
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS	84
	ANEXO A	88

ANEXO B	90
ANEXO C	92
APÊNDICE A	94
APÊNDICE B	95
APÊNDICE C	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVA DO TEMA

No Brasil as edificações consomem 50% da eletricidade do país e, devido a esse grande consumo, é nesse segmento que está o maior potencial de eficiência elétrica (EPE, 2020). Projeções indicam um crescimento no consumo de energia em edificações na próxima década, em torno de 3,8% e 4,3% ao ano para as classes residenciais e comerciais, respectivamente, sendo este crescimento fortemente impulsionado, pela ampliação do uso do ar-condicionado para a garantia do conforto térmico (PROCEL, 2021).

Uma das formas de combater este crescimento, está atrelada ao desenvolvimento de edificações com maior eficiência energética. Com isso, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) estabeleceu em 2014, o Selo Procel Edificações, que traz como objetivo identificar edificações que apresentam as melhores classificações de eficiência energética. Estima-se que, desde 2015, edificações contempladas com o Selo Procel Edificações evitaram um consumo de energia acumulado de 29,25 GWh (PROCEL, 2021). Entretanto, além de serem eficientes energeticamente, as edificações devem proporcionar conforto aos seus ocupantes, podendo ambos serem alcançados com o adequado desempenho térmico do edifício (MARQUES, 2013).

De modo geral, o desempenho térmico de uma edificação depende de uma combinação de fatores, tais como: orientação da edificação, condições de ventilação, características dos materiais opacos e transparentes, e das trocas de calor que ocorrem através deles. Dentre estes fatores, a envoltória da edificação (paredes, piso, cobertura) exprime uma grande influência em seu desempenho térmico, haja visto que é ela que separa o ambiente interno das adversidades climáticas externas. Deste modo, conhecer o comportamento térmico de cada um de seus elementos, é fundamental para que se possa projetar edificações confortáveis e energeticamente eficientes (MARQUES, 2013).

Neste contexto, a NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ABNT, 2013) determina três procedimentos para avaliar o desempenho térmico de uma edificação, sendo eles: cálculos das propriedades térmicas da envoltória; simulação computacional do comportamento térmico da edificação para o clima local; e por medições de temperatura *in loco*. O procedimento de cálculo, caracteriza o desempenho baseado nos valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T), já os

procedimentos de simulação computacional e medições *in loco*, caracterizam o desempenho baseados nas temperaturas internas e externas do ambiente. Embora o procedimento de cálculo represente de maneira simples e prática o desempenho térmico das edificações, conforme Gonçalves, Moura e Kuniochi (2015), a simulação computacional demonstra ser mais vantajosa, pois possibilita uma avaliação termodinâmica, que considera a influência de diferentes variáveis, como variações do clima externo, padrões de uso e ocupação e, ainda, os efeitos da inércia térmica da construção ao longo do tempo.

Em estudos já realizados utilizando a simulação computacional, autores como Barbosa e Lamberts (2001), Dumke (2002), Pereira e Batista (2010), sugerem que a capacidade térmica da envoltória seria a principal responsável pelo desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, aumento de conforto dos usuários. Entretanto, Marques (2013) verificou que os melhores desempenhos térmicos estão associados a baixos valores de transmitância da envoltória, porém, conforme a autora, esta seria uma propriedade difícil de ter seu valor fixado sem considerar a totalidade de parâmetros que influem no comportamento térmico da habitação, o que implica na necessidade de uma análise conjunta das propriedades térmicas da envoltória, tais como: transmitância, capacidade térmica e absorvância.

Neste contexto onde percebe-se a relevância do desempenho térmico da edificação para associar as condições de conforto e eficiência, a simulação computacional é uma ferramenta de grande importância, visto que permite avaliar de maneira rápida, econômica e segura, desde que bem configurada, diferentes estratégias e condições as quais as edificações podem ser submetidas, sendo ainda de maior relevância, o fato de considerar uma análise dinâmica, onde diferentes variáveis podem ser levadas em consideração, principalmente a climática, onde toda e qualquer edificação sempre está exposta. Deste modo, por ser a primeira barreira entre as adversidades climáticas externas e o interior da edificação, percebe-se que a envoltória desempenha um papel fundamental para o desempenho térmico, sendo imprescindível conhecer o papel que cada um de seus componentes desempenha para que sejam desenvolvidas edificações mais econômicas e confortáveis. Com essa premissa, e a tendência de as edificações tornarem-se cada vez mais verticais, nota-se que os sistemas de vedações verticais externos passam a representar grande influência sobre o desempenho térmico, necessitando desta forma, uma maior análise do seu comportamento frente as variáveis climáticas e acerca dos fatores que afetam seu desempenho.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar, através da simulação computacional, o desempenho térmico de diferentes tipos de paredes submetidas às condições climáticas do município de Barreiras-BA.

Apresentando os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o desempenho térmico de diferentes composições de paredes com base na quantificação de cargas térmicas do ambiente;
- Analisar a influência da orientação solar, absorvância térmica, e espessura dos materiais, nas cargas térmicas do ambiente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo apresenta uma revisão de literatura acerca dos conceitos relacionados ao desempenho térmico de edificações. Nele serão abordados os principais conceitos de conforto térmico, bioclimatologia, diretrizes do desempenho térmico no Brasil (com ênfase no que se refere ao município de Barreiras-BA), propriedades térmicas dos materiais, e análise do desempenho térmico de edificações por simulações computacionais. Será também apresentada, uma breve revisão de trabalhos que utilizaram a simulação computacional para análise do desempenho térmico, bem como suas constatações relacionadas as propriedades de maior influência, e acerca das metodologias de avaliação.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

O conceito de conforto térmico refere-se ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (ASHRAE, 2017; LAMBERTS et al., 2016).

Os estudos em conforto térmico visam principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo do conforto térmico baseia-se principalmente em três fatores: a satisfação do ser humano ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; a produtividade do ser humano; e a conservação de energia (LAMBERTS et al., 2016).

Por ser um animal homeotérmico, o organismo do ser humano mantém uma temperatura interna sensivelmente constante. Entretanto, por viver em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variadas e variáveis, seu próprio organismo utiliza o mecanismo de termorregulação para a manutenção desta temperatura, ou seja, quando necessário o organismo comanda a redução dos ganhos ou aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle. Apesar desses mecanismos agirem de forma natural, essa atividade representa um esforço extra para o indivíduo (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Deste modo, pode se dizer que o organismo experimenta a sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Visto que o conforto térmico está diretamente relacionado com as trocas de calor entre o ser humano e o meio em que está inserido, deve-se conhecer quais variáveis influenciam essa interação para estabelecer parâmetros e relações que auxiliem no seu controle (ROMERO, 2001).

2.1.1 Variáveis do conforto térmico

O corpo humano pode liberar calor para o meio ambiente circundante através de trocas secas (convecção, radiação e condução) e trocas úmidas (evaporação). Estas trocas são regidas por variáveis ambientais e humanas (SILVA, 1994).

As variáveis humanas, referem-se ao metabolismo gerado pela atividade física e a resistência térmica proporcionada pelas vestimentas; já as variáveis ambientais compreendem: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar. Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura, entre outras, podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devem ser consideradas (LAMBERTS et al., 2016).

Como as trocas de calor ocorrem devido a diferença de temperatura entre dois pontos, a temperatura do ar representa uma variável de grande importância nas trocas de calor por convecção entre o ar e a pele e, deste modo, uma variável determinante para a sensação de conforto térmico do ser humano (DA SILVA, 2015; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A temperatura radiante média representa a média ponderada das temperaturas superficiais do ambiente. Pode também ser definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo de um indivíduo é igual à transferência de calor radiante em um ambiente real não uniforme, expressa em °C (BALTAR, 2006).

A velocidade do ar em um espaço influencia a troca de calor convectiva entre os ocupantes e o ambiente. O ar se desloca pela diferença de temperatura do ambiente, onde o ar quente (menos denso) sobe e o ar frio (mais denso) desce, ocorrendo a convecção natural. Quando o movimento do ar ocorre por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de

convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor, ocorrendo a convecção forçada (LAMBERTS et al., 2016; SUZUKI, 2010).

A umidade é também outra variável importante para a avaliação do conforto térmico. Quando a evaporação da pele é maior do que a secreção de suor, este evapora assim que emerge dos poros, sem a formação de uma superfície líquida sobre a pele. Porém, com o aumento da transpiração ou a diminuição da evaporação, o suor se espalha pela pele, que, quando molhada, causa desconforto. Esse processo de evaporação tende a ser menor quanto maior for a umidade do ambiente (SUZUKI, 2010).

2.2 BIOCLIMATOLOGIA

A bioclimatologia estuda as relações entre o clima e o ser humano. Como forma de tirar partido das condições climáticas para criar uma arquitetura com desempenho térmico adequado, Victor Olgyay criou a expressão *projeto bioclimático*, que visa a adequação da arquitetura ao clima local (LAMBERTS et al., 2016).

Sabendo-se que o conforto térmico é produzido pela satisfação do ser humano com o ambiente no qual está inserido, a arquitetura bioclimática utiliza do próprio ambiente construído como mecanismo de controle das variáveis do meio através de sua envoltória (paredes, pisos, coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombras, terra) e, ainda, através do aproveitamento dos elementos e fatores do clima (ANSI/ASHRAE, 2004; ROMERO, 2001).

Para produzir uma arquitetura adequada ao clima e compatível com as necessidades humanas relativas ao conforto térmico, seu desenvolvimento deve seguir uma determinada sistematização: caracterização do clima local, principalmente em termos das variáveis do conforto térmico (temperatura, umidade, radiação solar, velocidade dos ventos); adoção de partido arquitetônico adequado às funções do edifício (forma, orientação e dimensionamento de aberturas, localização física); e determinação dos materiais mais adequados quanto à inércia térmica, atraso desejado, coeficiente de transmissão térmica e cor externa e interna (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Uma forma de obter informações a respeito do clima de um local é através dos dados medidos em estações meteorológicas. Esses dados costumam ser reunidos em arquivos climáticos que, após tratados, compõe um registro hora-a-hora de 8.760 horas, correspondendo a um ano climático de referência. Os principais arquivos climáticos utilizados no Brasil são o Test Reference Year (TRY) e o Typical Meteorological Year (TMY), usualmente utilizados em

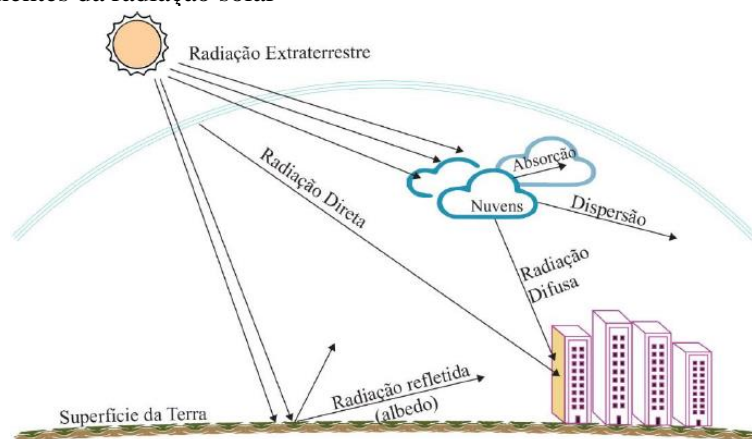
programas de simulação computacional. Ambos compreendem variáveis de temperatura de bulbo seco; temperatura de orvalho; umidade relativa do ar; direção e velocidade dos ventos; nebulosidade; pressão barométrica e radiação solar (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998; LAMBERTS et al., 2016).

2.2.1 Variáveis do clima

- **Radiação solar**

A radiação solar é uma onda eletromagnética curta, que ao atingir a atmosfera terrestre, pode ser dividida em diferentes parcelas: direta, difusa e refletida (Figura 1). A parcela direta, como o próprio nome diz, refere-se à porção que atinge diretamente a terra, e é também a principal responsável pelos ganhos térmicos de uma edificação. Já a parcela difusa, corresponde a porção que sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens, e então re-irradiada para a terra. Por fim, a radiação refletida compreende as parcelas provenientes da reflexão dos raios em superfícies adjacentes (LAMBERTS et al., 2016; NASCIMENTO, 2016; ZANONI, 2015).

Figura 1 - Componentes da radiação solar

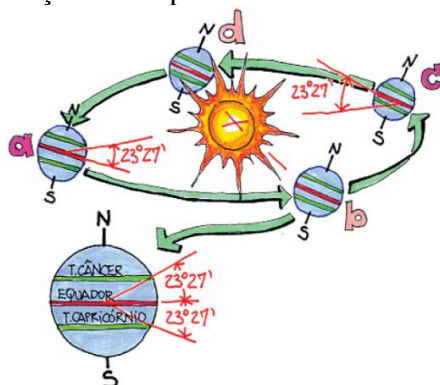


Fonte: Zanoni (2015).

Em climas frios, a penetração da radiação direta nos ambientes internos é desejável para promover aquecimento, ao contrário de climas quentes, onde a porção direta deve ser evitada, sendo somente a radiação difusa desejável para promover a iluminação do ambiente (LAMBERTS et al., 2016).

A terra apresenta uma inclinação em relação ao plano de sua trajetória elíptica de $23^{\circ}27'$, fazendo com que no movimento de translação, os hemisférios recebam uma quantidade distinta de radiação solar em cada período do ano, caracterizando as estações pelos solstícios de inverno e de verão, e pelos equinócios de outono e de primavera (Figura 2) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). O movimento de translação em conjunto com o movimento de rotação da terra, determinam as variações na intensidade da radiação ao longo do ano e durante o dia, respectivamente (LAMBERTS et al., 2016).

Figura 2 - Translação da terra e localização dos trópicos

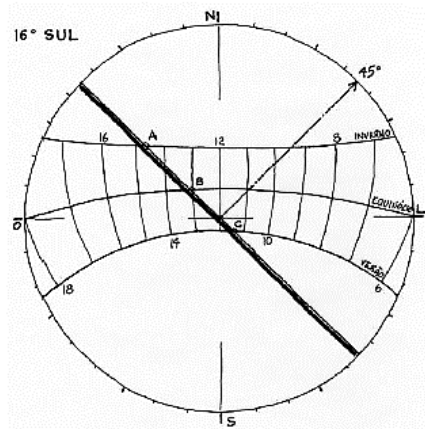


Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

De todas as variáveis do clima, a radiação solar é a de comportamento mais conhecido, bastando marcar a altura e o azimute solar em uma *carta solar* para saber onde está o sol em determinado período do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). O estudo da geometria de insolação é bastante utilizado nos estudos de conforto térmico, lumínico e de degradação, o qual possibilita, por meio da carta solar em função da latitude, a obtenção de informações acerca da insolação em um determinado elemento, permitindo assim a identificação da quantidade de radiação solar incidente sob o mesmo (NASCIMENTO, 2016). Nas Figura 3 e Figura 4 podem ser vistos diferentes exemplos do estudo da geometria de insolação.

Na Figura 3 observa-se o uso da carta solar para determinação da insolação em uma fachada. Como pode ser observado, os pontos A, B e C, representam o caminho do sol no solstício de inverno (A), equinócio (B) e solstício de verão (C), respectivamente, o que permite identificar a duração da incidência de insolação nessa fachada em cada um desses períodos.

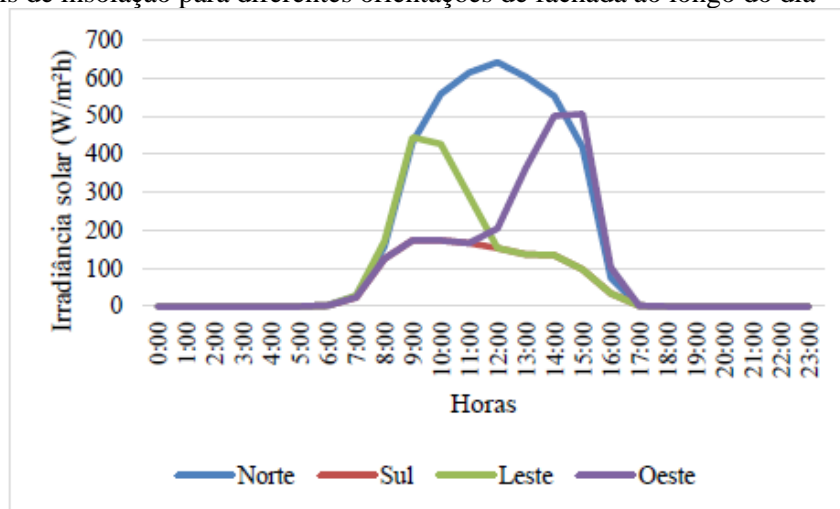
Figura 3 - Carta solar



Fonte: Fernandes (2007).

Na Figura 4, pode também ser observada outra representação do estudo da geometria de insolação, sendo esta, a utilização de perfis que demonstram a quantidade de energia de radiação recebida, representada neste caso pela irradiância solar, que se refere à taxa de radiação incidente em um corpo por unidade de área da superfície (ABNT, 2005).

Figura 4 - Perfis de insolação para diferentes orientações de fachada ao longo do dia



Fonte: Nascimento (2016).

Como pôde ser observado, a radiação solar pode variar de acordo com diferentes aspectos, sendo eles: latitude, horário do dia, estação do ano, altitude e nebulosidade (DE FREITAS, 2012). Desta forma, é de grande importância nos estudos térmicos de edificações, a determinação da trajetória do sol e da quantificação da radiação, de modo a identificar quais fachadas recebem maior influência desta variável, haja visto que esta é a principal responsável nos ganhos térmicos das edificações (NASCIMENTO, 2016).

- **Temperatura**

A temperatura representa uma variável que indica a quantidade de calor presente no ar. Apesar de o sol ser a principal fonte de calor na terra, não é a radiação solar a responsável direta pelas mudanças na temperatura do ar, mesmo porque, o ar é transparente a todos os comprimentos de ondas eletromagnéticas. Entretanto, a mudança de temperatura ocorre de maneira indireta: a radiação solar atinge o solo e as superfícies aquecendo-os, o calor liberado por estas superfícies aquecidas, por convecção, eleva a temperatura do ar (LAMBERTS et al., 2016; ZANONI, 2015).

Desta forma, pode-se dizer que a temperatura do ar é consequência de um balanço energético entre diferentes fatores: a radiação solar incidente e o coeficiente de absorção das superfícies receptoras da radiação solar; a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução; e as perdas por evaporação, convecção e radiação (LAMBERTS et al., 2016).

A temperatura média do ar é uma variável climatológica obtida pela média das temperaturas verificadas em um período específico, podendo ser expressa em valores médios (horários, diários, mensais e anuais), valores extremos (máxima e mínima) e amplitude térmica. A temperatura máxima e a temperatura mínima, respectivamente, são resultantes das médias das máximas temperaturas e das mínimas temperaturas, em um determinado período. A temperatura máxima absoluta e a temperatura mínima absoluta são, respectivamente, a mais alta das temperaturas máximas e a mais baixa das temperaturas mínimas, observadas em um determinado período (ZANONI, 2015).

Pode-se conhecer o comportamento da temperatura em um local a partir das normais climatológicas (médias estatísticas de medidas sistemáticas tomadas ao longo de três décadas). Elas fornecem temperaturas máximas e mínimas cuja diferença, em um período de tempo, é conhecida como amplitude térmica. A amplitude depende da umidade do ar: quando o ar está mais úmido, a amplitude é pequena, quando o ar está mais seco, a variação da temperatura pode ser alta (LAMBERTS et al., 2016).

Para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função de variáveis como o vento e a umidade do local (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

- **Umidade**

O ar pode conter uma determinada quantidade de água a depender de sua temperatura. Quanto maior a temperatura do ar, menor será a sua densidade e, em consequência, mais água poderá conter (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

Essa quantidade de água presente no ar é mensurada pela umidade relativa do ar, que consiste no quociente da umidade absoluta do ar pela umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão atmosférica. Quando o conteúdo de água evaporado no ar é o máximo possível para aquela temperatura, diz-se que o ar está saturado (ABNT, 2005; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

- **Vento**

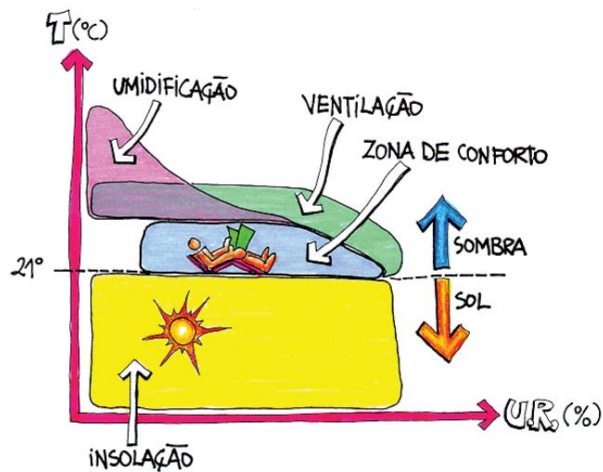
Em uma região climática, podem ocorrer variações significativas de direção e velocidade do movimento do ar. Isso se deve principalmente às diferenças de temperatura entre as massas de ar, o que provoca o seu deslocamento da área de maior pressão (ar mais frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O vento é também influenciado pela altitude, pela topografia e pela rugosidade do solo. Regiões de topografia acidentada desviam o vento, alterando sua direção e velocidade, ou podem canalizá-lo, aumentando então sua velocidade. Sua fluidez permite que sua trajetória seja comparada à trajetória das águas pluviais (LAMBERTS et al., 2016).

2.2.2 Estratégias bioclimáticas

Um dos parâmetros estabelecidos para auxiliar no controle da interação homem-clima em termos de conforto térmico, foram as cartas bioclimáticas. Buscando conciliar o conforto das edificações com as particularidades do clima, Victor Olgyay foi o primeiro a delinear uma zona de conforto para um determinado clima através de um gráfico bioclimático, conhecido por carta bioclimática. A projeção de dados climáticos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa, possibilitou determinar não somente a percentagem de desconforto, como também a identificação de possíveis estratégias para reestabelecer o nível de conforto (YOSHIDA, 2006).

Figura 5 - Carta Bioclimática de Olgay (1963)



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Com o passar dos anos outras cartas bioclimáticas foram desenvolvidas com o objetivo de suprir algumas limitações observadas na carta de Olgay. A carta de Givoni, por exemplo, é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional e, diferente da carta de Olgay, baseia-se na temperatura interna do edifício, buscando adotar estratégias relacionadas a massa das edificações de modo a torná-la mais inerte ao clima externo. Durante as revisões de seu gráfico bioclimático, Givoni adaptou sua carta para utilização em países desenvolvidos e países em desenvolvimento, servindo de base para a formulação da carta bioclimática brasileira (BOGO et al., 1994; LAMBERTS et al., 2016; YOSHIDA, 2006).

Por ser construída sobre o diagrama psicrométrico, a carta bioclimática de Givoni, bem como a brasileira, permite a identificação das estratégias bioclimáticas, traçando os dados referentes a temperatura do ar e umidade relativa para os principais períodos do ano climático da localidade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 6 - Carta bioclimática adotada para o Brasil



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

As estratégias sugeridas no Brasil são detalhadas pela NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005) apresentada no Quadro 1, entretanto, cada zona bioclimática possui estratégias específicas para seu clima, sendo necessário consultar a norma para determiná-las de acordo com o clima local.

Quadro 1 - Detalhamento de estratégias de condicionamento térmico

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

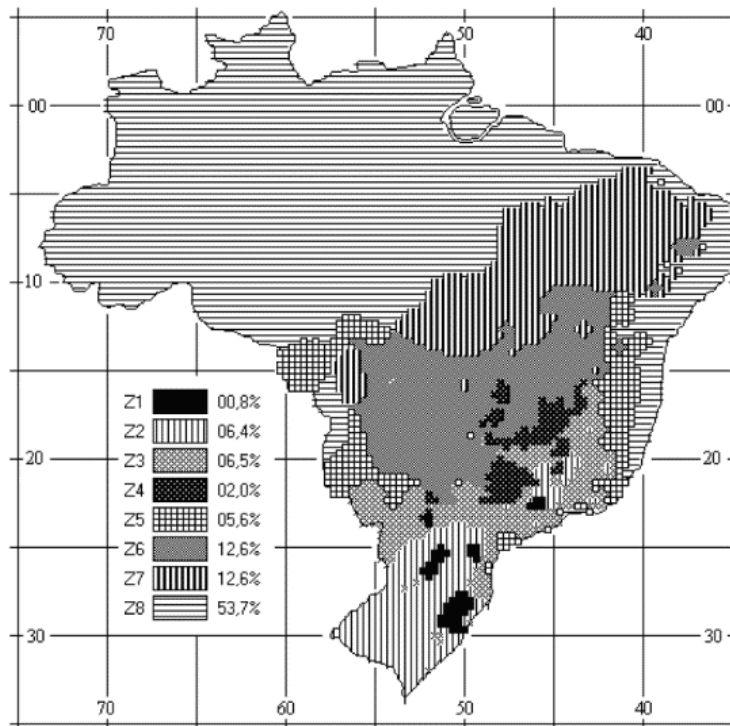
Fonte: NBR 15220-3 ABNT (2005).

2.2.3 Zoneamento bioclimático

O Brasil é um país de clima tropical. No entanto, dizer apenas que é tropical não define as características de cada região deste amplo território. Inserido no clima tropical há vários tipos específicos, determinados conforme a posição e característica geográfica de uma dada região (DORNELLES, 2004).

Deste modo, buscando otimizar o desempenho térmico das edificações através de uma melhor adequação climática, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 7), estabelecendo um conjunto de recomendações técnico-construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo (Quadro 1) para cada uma das zonas delimitadas (SIQUEIRA et al., 2005).

Figura 7 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

2.3 DESEMPENHO TÉRMICO

O desempenho térmico de edificações é um fator importante em habitações. A avaliação do desempenho térmico objetiva identificar a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo (SIQUEIRA et al., 2005).

Uma edificação pode ser considerada com bom desempenho térmico, na medida em que apresenta características físicas e construtivas (volumetria, materiais, aberturas) que permitem a manutenção de condições de conforto para seus usuários, com a mínima necessidade de equipamentos mecânicos para isso (condicionadores de ar, ventiladores) (LAMBERTS et al., 2010a).

Por tratar-se dos elementos construtivos que separam as variações do clima externo do interior da edificação, a envoltória atua como um filtro entre as condições externas e internas. Antes de afetarem a temperatura interna, todos os impactos caloríficos devem passar pela envoltória, onde podem ser mais ou menos influenciados a depender das propriedades térmicas dos materiais que a compõem (OLGYAY, 1998).

O conhecimento acerca das propriedades térmicas dos materiais de construção e das leis básicas de transferência de calor permite prever qual será a resposta de um edifício frente às

variações do clima externo e, em consequência, tomar decisões relacionadas a escolha dos materiais a serem empregados para a obtenção de um melhor desempenho térmico e conforto dos usuários (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Em edificações residenciais, o comportamento térmico é determinado, principalmente, em função das condições ambientais externas. Isso se deve a sua menor ocupação quando comparada a um edifício comercial, por exemplo, onde há maior geração de calor interno advindo das pessoas e seus padrões de comportamento e uso de equipamentos. No caso das edificações residenciais, os ganhos de calor através de sua envoltória e aberturas existentes, assim como as condições de exposição à insolação e à ventilação, são os principais fatores determinantes do desempenho térmico (LAMBERTS et al., 2010b).

No Brasil a ABNT traz formas de avaliar e otimizar o desempenho térmico das edificações pelas normas NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), e NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), respectivamente. Além destas, o governo brasileiro traz um terceiro documento relacionado ao desempenho térmico de habitações, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (MARQUES, 2013).

2.3.1 NBR 15575

A “NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho” trata de um conjunto de normas dividido em seis partes, das quais estabelecem critérios e métodos para avaliar o desempenho dos principais sistemas que compõem uma edificação, podendo estes serem avaliados como um todo integrado ou de forma isolada para um ou mais sistemas específicos.

A norma define os requisitos de desempenho por meio de critérios de segurança, habitabilidade, higiene, saúde, durabilidade e adequação ambiental, considerando para isto, as condições de exposição da edificação durante sua vida útil e de acordo as necessidades do usuário.

São estabelecidos pela norma, três procedimentos para avaliar o desempenho térmico das edificações. Recomenda-se utilizar o procedimento de simulação computacional caso a avaliação pelo procedimento simplificado se demonstre insatisfatória. Assim, a norma recomenda a avaliação do desempenho térmico pelos seguintes procedimentos:

- Procedimento 1 - Simplificado (normativo): que consiste no cálculo e comparação dos parâmetros térmicos dos fechamentos com os valores mínimos estabelecidos em norma;

- Procedimento 2 - Simulações computacionais: que consiste em avaliar as condições térmicas no interior e exterior do edifício habitacional por meio de programas que possibilitem a análise sob condições dinâmicas de exposição do clima, a exemplo o *EnergyPlus*;
- Procedimento 3 - Medições em campo (informativo): o qual define a realização de medições em edificações ou protótipos construídos comparando-as com os requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575-1.

O método simplificado de análise, determina os critérios mínimos de desempenho térmico das vedações verticais e cobertura, estabelecendo valores admissíveis para a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T), de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está inserida, como pode ser observado na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas U (W/m².K)

Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* \geq 0,6$
$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

* α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela 2 - Capacidade térmica C_T (kJ/m².K)

Zona 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Zona 8
≥ 130	Sem exigência

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Para o método de simulação computacional, a NBR 15575-1 estabelece para cada zona bioclimática, temperaturas internas máximas e mínimas diárias para as condições de verão e inverno, com nível de desempenho variando entre M (mínimo), I (intermediário) e S (superior), sendo o nível mínimo de aceitação o nível M. As condições determinadas são apresentadas na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zona 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
Superior	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$ $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1 \text{ }^\circ\text{C})$

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à 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 exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Tabela 4 - Critério de avaliação para desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zona 1 a 5	Zona 6 a 8
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas este critério não precisa ser verificado.
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	

$T_{i,min}$ 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 exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2013).

2.3.2 NBR 15220

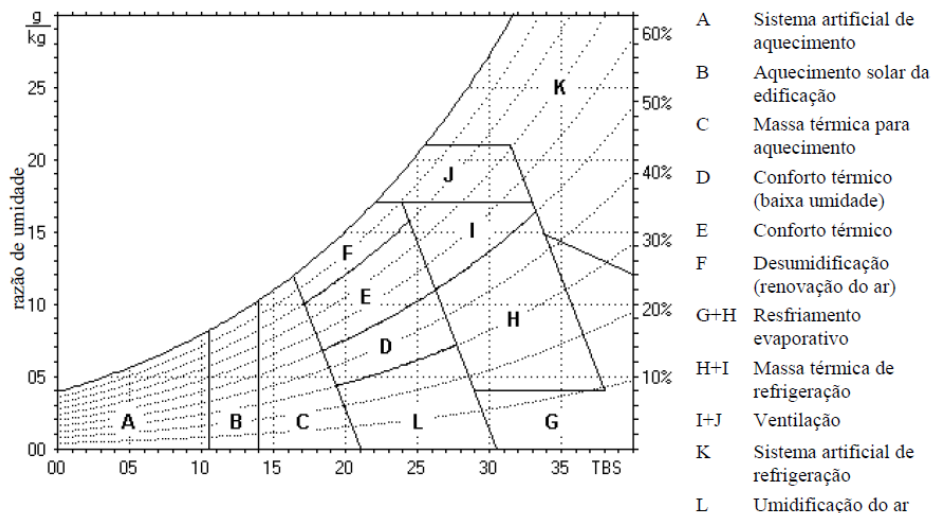
A Norma Brasileira 15220, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, está dividida em cinco partes, sendo que a segunda parte trata dos métodos de cálculo das propriedades térmicas dos fechamentos de uma edificação, e a terceira parte, como mencionado no item 2.2.3, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, apresentando recomendações mínimas de projeto para otimizar o desempenho térmico em habitações unifamiliares de interesse social nas diferentes zonas bioclimáticas. As demais partes tratam de definições dos termos abordados e de modos de medição da resistência e condutividade térmica (ABNT, 2005).

Para chegar ao zoneamento bioclimático, o território nacional foi dividido em 6.500 células caracterizadas por: posição geográfica, média mensal das temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa do ar. Essa caracterização foi feita a partir de 330 células que correspondiam a cidades detentoras de dados das normais climatológicas, nas demais células os dados foram obtidos pela realização de interpolações. Em posse desses dados climáticos, adotou-se uma carta bioclimática adaptada (Figura 8) a partir do modelo sugerido por Givoni,

onde são estipuladas as estratégias de condicionamento térmico passivo a serem aplicadas (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1998).

Sobre esta carta, foram registradas as variáveis pré-estipuladas de cada uma das 6.500 células de análise, classificando cada uma de acordo com um conjunto de estratégias, delimitando assim as oito zonas bioclimáticas brasileiras (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1998).

Figura 8 - Carta bioclimática adaptada e suas estratégias de condicionamento térmico passivo



Fonte: Roriz, Ghisi e Lamberts (1998)

O zoneamento bioclimático possibilita classificar as cidades brasileiras em zonas de acordo com suas características climáticas. Desse modo, as diretrizes construtivas estabelecidas na norma baseiam-se nas particularidades de cada zona, o que permite projetar edificações com um maior desempenho e conforto térmico.

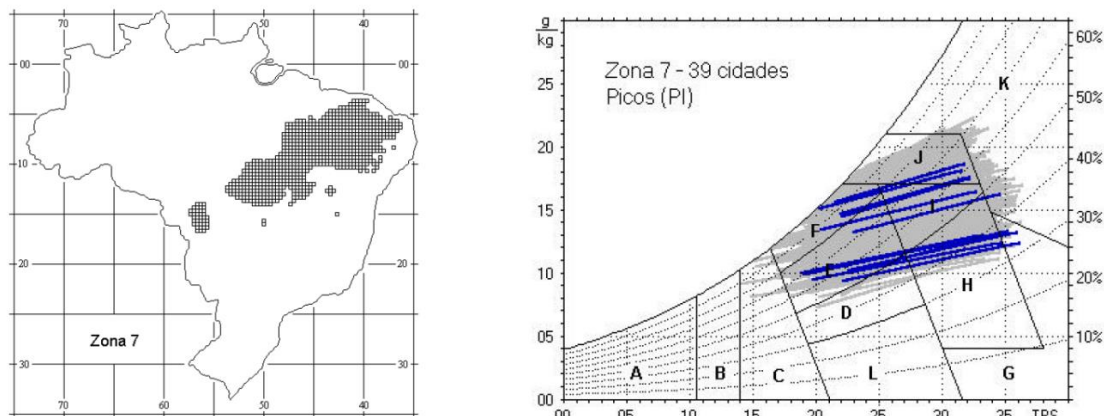
A critério de exemplo dos aspectos apresentados pela norma, será apresentado a seguir a visão desta sobre o município de Barreiras-Ba.

2.3.2.1 NBR 15220-3

A terceira parte da norma traz em um de seus anexos, a relação de algumas cidades brasileiras cujos climas já foram classificados. Dentre elas, está a cidade de Barreiras-Ba, pertencente a zona bioclimática 7.

Esta zona apresenta sua delimitação e carta bioclimática conforme apresentadas na Figura 9, e diretrizes construtivas conforme a Tabela 5.

Figura 9 - Região e Carta Bioclimática compreendidas pela zona bioclimática 7



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

Tabela 5 - Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7

Zona	Abertura para ventilação	Sombreamento das aberturas	Vedações externas		Estratégias de condicionamento térmico	
			Parede	Cobertura	Inverno	Verão
7	Pequenas	Sombrear aberturas	Pesada	Pesada	Não consta	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior a externa)

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Os valores dos parâmetros a serem adotados relacionados com as diretrizes construtivas, também são fornecidos pela norma, sendo os sugeridos para a zona bioclimática 7, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores recomendados para as diretrizes construtivas da zona bioclimática 7

Diretriz construtiva	Parâmetro de referência			
	Área - A (em % da área do piso)	Transmitância térmica - U (W/m ² .K)	Atraso térmico - φ (Horas)	Fator solar FS _o (%)
Aberturas pequenas para ventilação	10% < A < 15%	-	-	-
Paredes pesadas	-	U ≤ 2,20	≥ 6,5	FS _o ≤ 3,5
Coberturas pesadas	-	U ≤ 2,00	≥ 6,5	FS _o ≤ 6,5

Fonte: Adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

2.3.3 RTQ-R

No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi desenvolvido como ferramenta para etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares, e multifamiliares (INMETRO, 2012).

Dependendo do consumo de energia verificado, os edifícios residenciais recebem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro em um nível de "A" a "E", sendo "A" o mais eficiente (LAMBERTS et al., 2016).

O regulamento especifica a classificação do nível de eficiência das edificações residências de acordo com as prescrições a seguir:

a) Unidades habitacionais autônomas: avaliam-se os requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência do sistema de aquecimento de água e a eventuais bonificações;

b) Edificação unifamiliar: mesmo procedimento feito para a unidade habitacional autônoma;

c) Edificações multifamiliares: pondera-se o resultado da avaliação dos requisitos de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação;

d) Áreas de uso comum: avaliam-se os requisitos relativos à eficiência do sistema de iluminação artificial, do sistema de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas centrífugas, dos equipamentos e de eventuais bonificações.

O regulamento apresenta dois métodos de avaliação do desempenho termoenergético da envoltória: o método prescritivo e o de simulação. Antes da análise por um destes métodos, deve ser verificado também o atendimento aos pré-requisitos da envoltória estabelecidos no documento, que avaliam propriedades térmicas como a transmitância térmica, a capacidade térmica e a absortância solar das superfícies, como também a ventilação natural e a iluminação natural (ALMEIDA, 2014).

Após a verificação destes requisitos, será utilizado um dos dois métodos descritos para a obtenção dos graus-hora de resfriamento e do consumo para aquecimento dos ambientes de longa permanência. Com estes dados, determina-se o equivalente numérico da envoltória para resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$) e para aquecimento ($EqNumEnv_A$). Estes valores serão inseridos

em uma equação que computará a pontuação da eficiência da envoltória do edifício analisado, que será convertida na escala de A a E (MARQUES, 2013).

Para a avaliação da eficiência da edificação como um todo, o RTQ-R ainda propõe métodos para a avaliação do sistema de aquecimento de água e para o cálculo de bonificações pela incorporação de iniciativas eficientes nas habitações unifamiliares e multifamiliares. Por não fazerem parte do escopo deste trabalho, não serão abordadas.

2.3.4 Propriedades térmicas dos materiais

Sabendo-se que a envoltória de um edifício é a principal responsável pelos seus ganhos térmicos e atua diretamente nas condições de conforto, é importante para o estudo do desempenho térmico o conhecimento dos conceitos de transmissão de calor e propriedades térmicas dos materiais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para que ocorra a troca térmica, uma das seguintes condições deve ser satisfeita: diferença de temperatura entre dois corpos ou mudança de estado de agregação. Na condição de temperaturas diferentes, a troca de calor pode ocorrer pelos seguintes mecanismos físicos: convecção, radiação e condução. Convecção é caracterizada pela transferência de calor entre corpos em estados físicos diferentes, sendo um no estado sólido e o outro no estado fluído (gasoso ou líquido). A radiação é o procedimento que envolve corpos capazes de emitir e absorver energia, separados a certa distância. Já a condução, é o método de troca de calor que acontece quando dois corpos são colocados em contato, ou quando o mesmo corpo possui partes ou faces com temperaturas distintas. Na condição de mudança de estado de agregação, os mecanismos de troca térmica podem ser a evaporação e a condensação, onde ocorre o ganho ou dissipação de calor, respectivamente (FROTA; SCHIFFER, 2001).

É fundamental também diferenciar os elementos da envoltória da edificação em opacos e transparentes (ou translúcidos). Materiais opacos não possibilitam a transmissão direta da radiação solar ao ambiente interno, já os transparentes transmitem uma grande parcela de radiação (MARQUES, 2013).

Como o objeto de estudo do trabalho refere-se a elementos opacos, a seguir serão apresentadas as propriedades térmicas que influenciam na transferência de calor por estes materiais.

Absortância (α) e Refletância (ρ): Em fechamentos opacos, a transmissão de calor com o meio ocorre a princípio por radiação e convecção. A radiação incidente na superfície do

fechamento terá uma parcela absorvida e uma refletida, dependendo, respectivamente, da absorvância e refletância do material. Superfícies escuras possuem alta absorvância, já as superfícies claras possuem alta refletância (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Condutividade térmica (λ): Em um segundo momento, a transmissão de calor em um fechamento opaco passa a ser a condução, onde o calor é transmitido da superfície mais quente para a mais fria. A intensidade dessa transferência depende, além da diferença de temperatura, da condutividade térmica (λ) e da espessura (e) do material. A condutividade térmica representa a capacidade do material em conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo, sendo os materiais de baixa condutividade, classificados como isolantes térmicos (MARQUES, 2013).

Resistência térmica (R_T): Inversamente proporcional a condutividade, a resistência térmica (R) corresponde a propriedade do material em resistir à passagem de calor. Pode ser elevada ao incrementar a espessura do material ou utilizar um material de menor condutividade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Transmitância térmica (U): A transmitância térmica (U) é determinada pelo inverso da resistência térmica (R) e representa o fluxo de calor que, na unidade de tempo e por unidade de área, passa através do componente. É uma das variáveis mais importantes para a avaliação de desempenho de fechamentos opacos, possibilitando avaliar seu comportamento frente à transmissão de calor e compará-lo com outras opções de fechamentos. Quanto menor a transmitância de um material, maior isolamento ele oferece (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MARQUES, 2013).

Calor específico (c): O calor específico de um material representa a quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade de temperatura a unidade de massa do material. Quanto maior o calor específico de um material, maior será a quantidade de calor absorvida para haver um incremento em sua temperatura (DORNELLES, 2004).

Atraso térmico (ϕ): Indica o tempo necessário para uma onda térmica atravessar um componente construtivo. Esse tempo é influenciado pelos parâmetros que intervêm no processo de transmissão de calor por condução em regime variável, ou seja, condutividade térmica (λ), calor específico (c), densidade (d) e espessura (e) (DORNELLES, 2004).

Capacidade térmica (C_T): Trata-se da maior ou menor capacidade de um material construtivo armazenar calor. Varia de acordo a espessura (e), calor específico (c) e densidade (d). A capacidade térmica, também é referida como a inércia térmica do elemento, que representa a capacidade do elemento armazenar energia em forma de calor e liberá-la após certo

tempo. Contando-se com uma inércia térmica elevada e componentes com adequado isolamento, pode-se assegurar um bom desempenho térmico durante as horas de maior temperatura e radiação solar no exterior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; MARQUES, 2013).

2.4 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

2.4.1 Importância das simulações

Conforme Didoné e Pereira (2010, p.141) a avaliação do desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. No entanto, o uso de simulações computacionais tornou possível representar o comportamento térmico, lumínico e energético das edificações, possibilitando a análise de diferentes cenários ainda na fase de projeto, ou mesmo após a construção.

Segundo Mendes et al. (2005) as primeiras ferramentas computacionais para simulação de edificações foram desenvolvidas na década de 70, principalmente pelos Estados Unidos (EUA). Com o avanço da tecnologia, mais ferramentas foram surgindo, algumas sendo utilizadas até hoje, entre elas: DOE-2, BLAST, RADIANCE e ESP-r. Com o aumento da capacidade de processamento e de memória dos computadores, programas mais modernos e complexos foram desenvolvidos: *EnergyPlus*, FLUENT, CFX e o PHOENICS. Entretanto, devido a variação de complexidade, algumas ferramentas são empregadas apenas em centros de pesquisas de universidades e institutos, sendo pouco abrangente à utilização cotidiana em escritórios de projetos.

Conforme Gonçalves, Moura e Kuniochi (2015), a utilização da simulação computacional na análise do desempenho termoenergético das edificações, apresenta vantagens sobre os métodos simplificados, pois possibilita uma avaliação termodinâmica, que considera variações do clima externo, bem como do padrão de ocupação e, ainda, os efeitos da inércia térmica da construção ao longo do tempo.

Outros autores demonstram a importância da utilização da simulação computacional em relação aos métodos simplificados, como Marques e Chvatal (2013), que identificaram incoerências ao avaliarem, por ambos os métodos, o desempenho térmico de uma residência

unifamiliar. Dentre as quinze tipologias construtivas avaliadas, quatro satisfizeram o método simplificado, porém, quando avaliadas pela simulação computacional, apresentavam baixo desempenho ou não atendiam as especificações. Em outro trabalho comparando os dois métodos, Chvatal (2014) obteve a mesma conclusão anterior, onde os resultados obtidos pelo método simplificado podem levar a uma classificação de desempenho equivocada, como a que foi observada pela falta de representatividade do método simplificado frente aos impactos da transmitância e da absorvância da envoltória.

Embora a norma não julgue necessária a verificação pela simulação computacional do sistema quando é atendido pelo método simplificado, estudos demonstram relevante a adoção desse procedimento para maior confiabilidade nos resultados obtidos.

2.4.2 Programas de simulação

Conforme Neumann e Schneider (2000), para que uma ferramenta de simulação seja eficiente, ela deve ser desenvolvida de forma que a complexidade dos problemas seja reduzida sem sacrificar, na mesma proporção, a precisão das respostas. É também de grande importância uma interface amigável que possibilite o usuário dominá-la em pouco tempo, com uma síntese de dados de entrada significativos e um tempo pequeno de simulação.

Com isso, devido a ampla diversidade de programas disponíveis para simulações de ambientes, para escolher a ferramenta mais adequada Menezes (2006) traz uma breve análise dos programas disponíveis mais utilizados em estudos na área de desempenho térmico de edificações, os quais serão apresentados a seguir:

COMFIE (*Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé à une Interface Expert - Cálculo de Multizonas Fixadas a uma Interface Inteligente*): Trata-se de uma ferramenta de simulação simplificada, que permite a análise térmica de um projeto e foi desenvolvido no centro de energia da Escola de Minas de Paris.

No caso, o módulo de cálculo aplicado ao estudo da transferência de calor permite simular vários ambientes de um edifício ao mesmo tempo. Há duas opções de simulação simplificada no módulo de cálculo térmico: uma é a que fornece, como resultado, o valor da carga de aquecimento para o período de aquecimento do ano de referência, e a outra é a avaliação do conforto térmico no verão.

Pode-se calcular perdas de calor, ganho solar, curva de temperaturas e carga térmica anual, temperaturas mínimas, máximas e médias para cada zona, com a carga de aquecimento

ou resfriamento, bem como obter uma estimativa do custo para aquecimento e resfriamento para vários tipos de energia.

NBSLD (*National Bureau of Standards – Load Determination*): Desenvolvido pelo *National Bureau of Standard* (NBS) – USA, o programa utiliza um modelo unicomportamental, no qual os cálculos são feitos, resolvendo-se simultaneamente as equações de balanço térmico do ambiente.

Sua principal característica se encontra no método dos fatores de resposta térmica para o cálculo das quantidades de calor transmitido por condução através dos elementos do prédio. Tendo como limitações as vazões de ar, que não são calculadas, devendo ser fornecidas como dados de entrada pelo usuário, além das considerações de cobertura, que são limitadas a planas e horizontais.

Como resultado, podem ser obtidas temperatura do ar e radiante média no interior, como também as temperaturas e fluxos de calor nas superfícies externas e internas de todos os elementos e componentes.

DOE: Desenvolvido pelo "Lawrence Berkeley Laboratory" da Universidade da Califórnia em conjunto com o "Department of Energy" (DOE), nos Estados Unidos, o DOE é um programa elaborado para analisar o desempenho termo-energético de edificações. Ele simula o consumo horário e os custos de energia de uma edificação, considerando as características arquitetônicas, regime de utilização, sistema de condicionador de ar, sistema de iluminação e equipamentos, dados climáticos e estruturas tarifárias. Realizando o cálculo de cargas térmicas horárias e a simulação dos equipamentos de aquecimento e refrigeração.

O método dos fatores de resposta térmica é utilizado para a determinação da transferência de calor por condução e o método dos fatores de ponderação para a determinação de cargas térmicas de condicionamento.

TRNSYS.15: desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin nos Estados Unidos, o programa TRNSYS.15 está disponível comercialmente desde 1975. Seu objetivo é a simulação do desempenho transiente de sistemas térmicos.

O TRNSYS.15 baseia-se em um programa principal que organiza a ligação e a concatenação das sub-rotinas que representam os modelos e componentes do sistema. O programa apresenta uma estrutura modular, isto é, possibilita a adição de novos modelos em sua biblioteca padrão. O programa apresenta o módulo TYPE, um componente que corresponde a um sistema térmico completo, e é uma sub-rotina escrita na linguagem FORTRAN, nele chegam as entradas e partem as saídas. Paralelamente, podem ser associados parâmetros

relacionados ao sistema, fenômeno ou utilitário representado. Estes parâmetros são valores que permanecem constantes ao longo de toda a simulação.

BLAST: O programa BLAST foi desenvolvido pela Universidade de Illinois atendendo pedido do Department of Defence dos Estados Unidos, tendo como base o fator de resposta para condução, juntamente com o método das diferenças finitas. A principal diferença entre o DOE e o BLAST é que o último processa a parte da carga térmica e condicionador de ar de forma integrada, e o módulo dos materiais encontra-se incorporado ao programa.

EnergyPlus: Assim como os demais, trata-se de um programa de simulação utilizado para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações. Entretanto, ele combina as potencialidades de outros dois programas, Blast e DOE-2, baseando-se no método de cálculo do programa Blast para efetuar o balanço térmico.

O programa permite, a partir da caracterização geométrica da edificação, seus componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, estimar o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior.

O programa possui capacidade de simulação diferenciada, tais como *time-step* (intervalo de tempo) de cálculo menor que uma hora, sistema modular, possibilidade de cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada zona térmica, cálculo de índices de conforto térmico e integração com outros sistemas (fotovoltaico, aquecimento solar, etc.).

Quanto à saída de dados do *EnergyPlus*, o usuário pode solicitar diversos tipos de relatórios do programa com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna, temperatura das superfícies, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada ou adicionada pelo sistema de condicionamento de ar.

Deste modo, conforme Menezes (2006), o programa *EnergyPlus* é o mais utilizado pelos pesquisadores do Brasil para a realização de simulação térmica e energética de edificações.

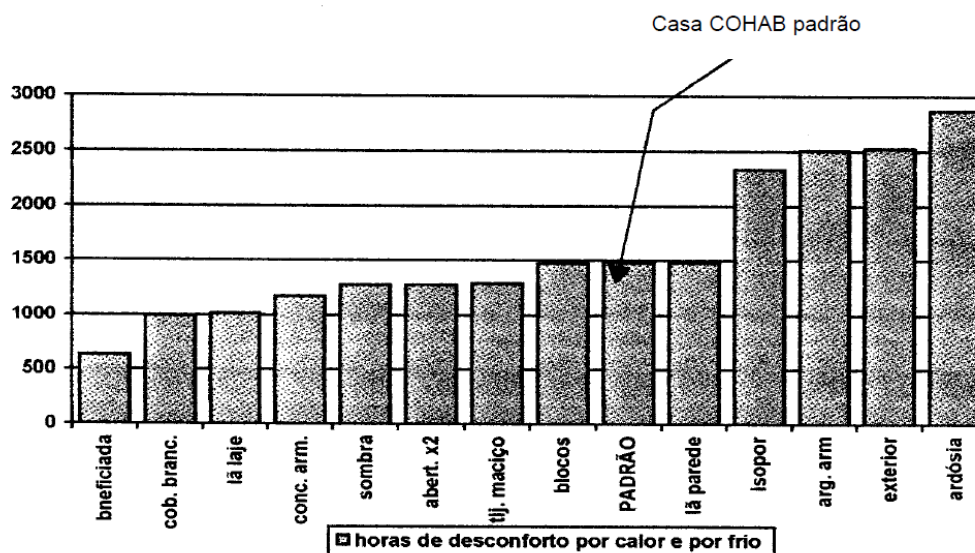
2.4.3 Desempenho térmico de edificações por meio de simulação computacional

Observou-se através da temática de análise do desempenho térmico de edificações, diversos trabalhos que demonstram um grande interesse e avanço na área, tanto na identificação de fatores que afetam o comportamento térmico das edificações, como nos métodos que são utilizados para avaliá-los. A seguir serão abordados os trabalhos de diferentes autores que podem contribuir para a análise do estudo aqui proposto.

Conforme Mendes et al. (2005), o uso de simulações computacionais para melhoria da eficiência energética no Brasil começou na década de 80, como um reflexo da crise do petróleo ocorrida na década anterior. No entanto, a utilização dessa ferramenta se concentra, assim como no princípio, nas instituições de ensino e pesquisa, sendo pouco disseminada entre os escritórios de projetos. Os autores ainda consideram que para promover o projeto de edificações e sistemas mais eficientes, são necessárias normas que regularizem o setor.

Como no Brasil a normatização para avaliar o desempenho térmico de edificações ainda não estava estabelecida, Barbosa e Lamberts (2001) propuseram uma metodologia para avaliá-lo baseada em limites de hora de desconforto anual e de características térmicas da edificação. Utilizando a simulação computacional por meio do programa COMFIE, os autores quantificaram as horas de desconforto anual aceitáveis frente a realidade econômica local e aos sistemas construtivos comumente adotados. Isso possibilitou determinar características térmicas mínimas para as edificações bem como definir limites de horas de desconforto, o que remete, respectivamente, aos métodos de avaliação por prescrição e por desempenho propostos pelos autores. Na avaliação realizada, os autores identificaram que, para o clima em questão, o isolamento das paredes não contribuiu para a redução das horas de desconforto por frio e calor, sendo a propriedade mais relevante para isso, a capacidade térmica ou massa das paredes, onde em alguns casos, pode até suprir o aumento da transmitância do elemento.

Figura 10 - Quantidade de horas de desconforto anual para diferentes simulações realizadas



Fonte: Barbosa e Lamberts (2001)

Dumke (2002) avaliou o desempenho térmico de edificações da vila tecnológica de Curitiba, onde buscou, além de avaliar, dar subsídios para a proposta de norma de desempenho

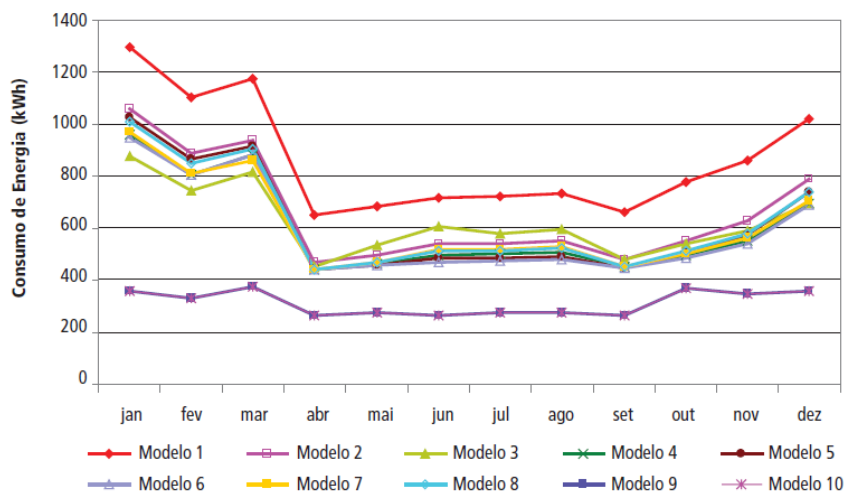
térmico que vinha sendo elaborada pela UFSC (1998). A autora utilizou o programa ANALYSIS para a avaliação do desempenho, onde obteve a quantificação das horas nas faixas de conforto e desconforto de cada moradia. Além disso, foi realizada uma avaliação paramétrica onde procurou-se verificar o grau de influência de cada um dos parâmetros físicos sobre o desempenho térmico das moradias. Como resultado a autora identificou que no município de Curitiba, a condição de inverno foi a de maior desconforto, com todos os sistemas construtivos apresentando em seu interior, alta porcentagem de horas com temperaturas na faixa de desconforto por frio, variando de 83,4% a 93,8% das horas totais de medições. Da avaliação paramétrica, a autora concluiu que as características que apresentaram o mais alto índice de correlação na cobertura foram a inércia térmica (ϕ) no inverno, e a transmitância (U) no verão. No caso das paredes, a inércia térmica (ϕ) se mostrou a característica de mais alto índice de correlação, tanto no inverno quanto no verão, seguida pelo fator de calor solar (FS) e a transmitância (U).

Após estabelecida a NBR 15220 pela ABNT (2005), Menezes (2006) avaliou o desempenho térmico de cinco habitações de interesse social no município de Passo Fundo, RS, utilizando o programa *EnergyPlus*. Dentre os resultados encontrados, verificou-se que a maioria das propriedades térmicas da edificação atendiam a norma, com exceção da transmitância térmica para o período do inverno, o qual o autor constatou como sendo o de maior desconforto devido a análise da quantidade de horas de desconforto anuais. O autor recomenda mais estudos para verificar quais mudanças podem ser adotadas para melhorar o conforto durante o frio, deixando como sugestão aumentar o aproveitamento do calor de radiação solar, utilizando para isso o aumento da inércia térmica da edificação combinada com uma orientação solar adequada. O autor ainda complementa que o programa *EnergyPlus* apresentou resultados bastante próximos aos da realidade e que o mesmo pode ser utilizado com grandes vantagens em relação as medições *in loco*.

Pereira e Batista (2010) utilizaram o *EnergyPlus* para avaliar o desempenho termoenergético, ainda na etapa de projeto, da *Casa Eficiente* (projeto desenvolvido por uma parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a ELETROSUL e a ELETROBRAS para a construção de um centro de demonstrações de eficiência energética). Foram simulados dez modelos com a incorporação em sequência de estratégias passivas de condicionamento ambiental, onde verificou-se que o modelo que adotou a maior quantidade de estratégias foi o que apresentou a maior redução no consumo anual de energia, uma redução de 64% em relação ao modelo de referência. Com relação ao desempenho térmico as autoras concluíram que, com

base no somatório de graus-hora de desconforto, a adoção de materiais com inércia e isolamento térmico no envelope do edifício resultaram em uma grande melhoria do desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, no conforto térmico dos usuários.

Figura 11 - Variação do consumo anual de energia elétrica para os dez modelos simulados



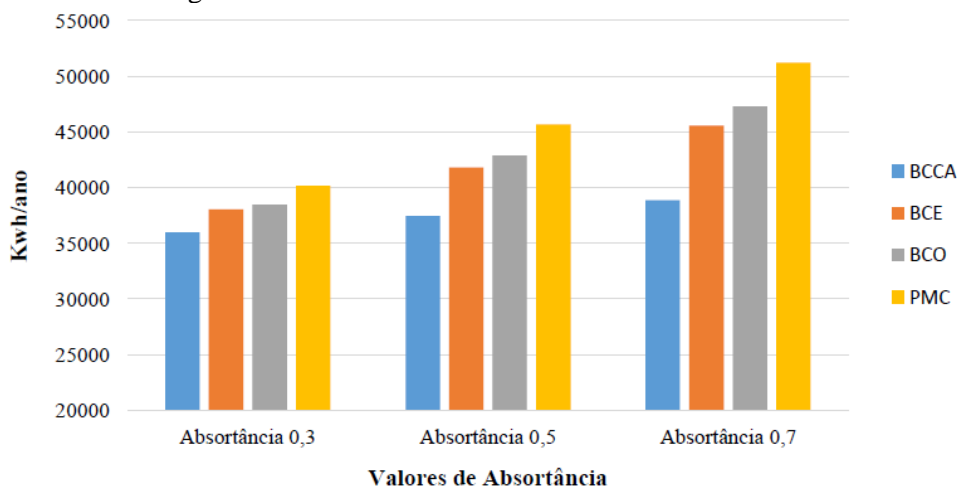
Fonte: Pereira e Batista (2010)

Marques (2013) analisou a influência das propriedades térmicas das paredes e coberturas no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP, utilizando para isso o processo de simulação computacional por meio do programa *EnergyPlus*. A autora realizou simulações paramétricas variando propriedades térmicas tais como: transmitância (U) e capacidade térmica (C_T), absorvância (α), além de outras variáveis, como adoção de ventilação natural e inserção de ganhos internos (ocupação, iluminação, equipamentos). De acordo com suas análises relacionadas às propriedades térmicas, a autora concluiu que quanto maior os valores de U , pior será o desempenho térmico da envoltória, validando a lógica adotada pela NBR 15575 e pelo RTQ-R. No entanto, ela também salienta que há uma dificuldade em se fixar valores para este parâmetro, visto que o comportamento térmico das edificações depende da combinação deste com outros parâmetros, como a absorvância, fazendo com que, no caso das paredes, o aumento do valor U tenha um impacto variável no desconforto por calor ou por frio a depender de sua combinação com a absorvância da envoltória e o U da cobertura. A autora também ressalta em suas análises incoerências entre os métodos de avaliação adotados pela NBR 15575, onde há casos em que o desempenho é atendido pelo método simplificado, sendo posteriormente classificado como inferior ou não atendido no método de simulação, o mesmo já foi observado por outros autores citados.

Dias (2016) realizou a avaliação do desempenho térmico de uma cobertura verde por meio do programa *EnergyPlus* em três diferentes cidades Brasileiras. Para avaliar somente o desempenho da cobertura, foram adotadas durante a modelagem paredes e piso adiabáticos compostos de um material desprovido de inércia térmica, o que fez com que a única superfície exposta às transferências de calor fosse a cobertura. Como alternativas à cobertura verde, foram utilizadas como referência uma cobertura convencional de fibrocimento e uma variedade “fria” (superfície externa pintada de branco). A avaliação foi feita a partir das cargas térmicas anuais obtidas para resfriamento e aquecimento, onde foi identificado que a cobertura verde proporcionou reduções nas cargas térmicas de 83% a 95% e, 28% a 91%, quando comparada as coberturas convencional e “fria”, respectivamente. O autor atribui como principal responsável para essa redução, o processo de evapotranspiração em casos de resfriamento, e, em casos de aquecimento, à limitação da retirada de calor do ambiente interno proporcionada pela camada de substrato.

Mendonça et al. (2019) realizaram uma análise acerca da interferência dos elementos da envoltória no consumo energético restringido ao resfriamento por aparelhos de ar-condicionado. Para isso, foram realizadas simulações através do programa *EnergyPlus*, onde alternaram-se os sistemas de vedação vertical externos – SVVE – (bloco cerâmico, bloco de concreto, bloco de concreto celular autoclavado e parede maciça de concreto) e as cores das fachadas (cores claras, médias e escuras). Conforme os autores, a alternância dos sistemas não promoveu variações expressivas no consumo durante o período noturno, entretanto, a atividade diurna de climatização indicou maiores percentuais de eficiência energética de acordo ao sistema adotado, sendo o mais eficiente, o bloco de concreto celular autoclavado de cor clara, sua melhor eficiência se manteve para as outras cores, entretanto, com consumos maiores. Os autores ainda salientam que, mesmo no pior cenário (cores escuras nas fachadas), a economia gerada pela alternância dos sistemas adotados, teria capacidade de suprir 6,5 residências por ano.

Figura 12 - Consumo energético referente a diferentes SVVE com diferentes absorptâncias



Fonte: Mendonça et al. (2019)

Através de simulações computacionais, Gois (2020) avaliou a influência do sistema de revestimento no desempenho térmico, acústico e lumínico, de edifícios. No tocante ao desempenho térmico, as simulações foram realizadas com o programa *EnergyPlus*, onde, para a análise da influência, foram empregadas diferentes composições do sistema de revestimento, especialmente tipo de material, cor e espessura. Com base nos resultados obtidos, o autor concluiu que o desempenho térmico é influenciado, por praticamente, todos os elementos e componentes dos sistemas de vedações verticais externos (fachada), e sistema de cobertura, não sofrendo influência significativa do sistema de piso e vedações verticais internas. Dentre as variações adotadas, o autor identificou que, as cores da fachada e do sistema de cobertura, bem como, o uso de manta térmica e a tipologia do sistema de cobertura, apresentaram a maior influência no desempenho térmico.

Com base no que foi observado durante a revisão dos trabalhos citados, nota-se a importância da simulação computacional para o desempenho térmico das edificações, visto que este varia com base em diferentes parâmetros que não são considerados pelo procedimento simplificado da norma, tais como efeitos de inércia térmica, variações climáticas diárias, orientação solar, uso e ocupação das edificações. Além disso, percebe-se a necessidade de associar a avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado com o procedimento de simulação computacional, visto que foram observadas discrepâncias entre os resultados obtidos pelos dois métodos, o que inviabiliza a análise por um único procedimento. No que se refere ao desempenho térmico das edificações, observou-se uma grande tendência nos parâmetros de maior influência para seu aprimoramento, dentre eles, a capacidade térmica das paredes e a transmitância da cobertura, podendo-se dizer que a capacidade térmica pode até

suprir a redução do desempenho promovido por outros parâmetros, além destas, a absorvência dos elementos externos demonstrou-se unânime tanto para o aumento quanto para a diminuição do desempenho térmico.

Baseado nisso o presente trabalho busca complementar, por meio da simulação computacional, a avaliação do desempenho térmico realizada por Araújo (2018) em seu trabalho sobre desempenho térmico de paredes no município de Barreiras-Ba. A autora analisou duas composições de paredes comumente utilizadas no município e propôs em sua pesquisa 27 composições de paredes, as quais tiveram seus custos/m², custo-benefício e parâmetros de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico calculados conforme a NBR 15220-2: 2003, sendo estes utilizados para a avaliação do desempenho térmico conforme o método simplificado da NBR 15575-1: 2013 e, para verificação do atendimento das recomendações da NBR 15220-3: 2003. As paredes comumente utilizadas no município não atenderam as diretrizes normativas para o valor de absorvência térmica adotado, e dentre as 27 composições propostas, 11 não atenderam às diretrizes normativas. Araújo (2018) ainda constatou que para atender os parâmetros normativos recomendados para Barreiras-Ba, a utilização de paredes com alvenaria simples e revestimentos convencionais não é suficiente. Em relação aos custos, a autora constatou que as propostas elaboradas superam os custos das paredes comuns, entretanto, o desempenho térmico consideravelmente maior propicia um maior conforto térmico e reduz os custos com resfriamento artificial. A autora deixa como sugestão para trabalhos futuros, a análise por simulação computacional da influência da absorvência térmica, e a comparação de edificações que utilizem as paredes comumente utilizadas e as composições propostas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho possui caráter exploratório e busca analisar o desempenho térmico de diferentes composições de paredes, e a influência dos parâmetros: orientação solar; absorvância térmica; e espessura dos materiais, no desempenho térmico deste elemento quando submetido às condições climáticas do município de Barreiras-Ba. A metodologia consistiu em escolher seis dentre as 27 paredes analisadas por Araújo (2018) e, utilizando o programa *EnergyPlus*, efetuar simulações computacionais do desempenho térmico por cargas térmicas para cada uma delas de forma simples (sem variação de parâmetros), e paramétrica (uma nova simulação para cada mudança de parâmetro), onde os parâmetros orientação e absorvância foram variados em dois e três níveis respectivamente, e a espessura dos materiais foi variada em três níveis para cada material que compunha uma parede. Com o resultado das simulações foi realizada uma análise de variância (ANOVA) seguido de um teste de comparações de médias (Tukey), e dois estudos de caso acerca da resposta térmica das paredes em relação a variação dos parâmetros.

O trabalho será realizado seguindo as etapas descritas a seguir:

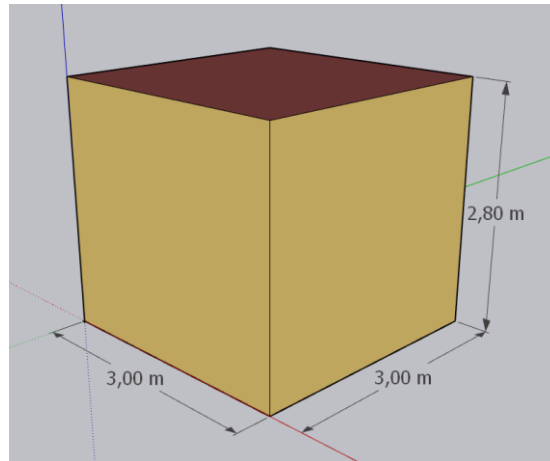
- Definição do modelo de testes simulado;
- Escolha das composições de paredes;
- Definição dos valores dos parâmetros que serão variados;
- Realização das simulações computacionais através do *EnergyPlus*;
- Realização da análise de variância (ANOVA);
- Análise dos resultados.

3.1 MODELO DE TESTES SIMULADO

A definição do modelo de simulação, iniciou-se pela determinação do ambiente que será simulado. A ABNT (2013) e o INMETRO (2012) indicam a adoção de ambientes de permanência prolongada para realização de simulações, sendo o dormitório considerado um destes ambientes. Desta forma, as dimensões adotadas para o ambiente de simulação foram determinadas com base nas dimensões estabelecidas pelo Plano Diretor Urbano (PDU) de

Barreiras para um dormitório, resultando em um ambiente com as seguintes dimensões: 3 m x 3 m x 2,80 m.

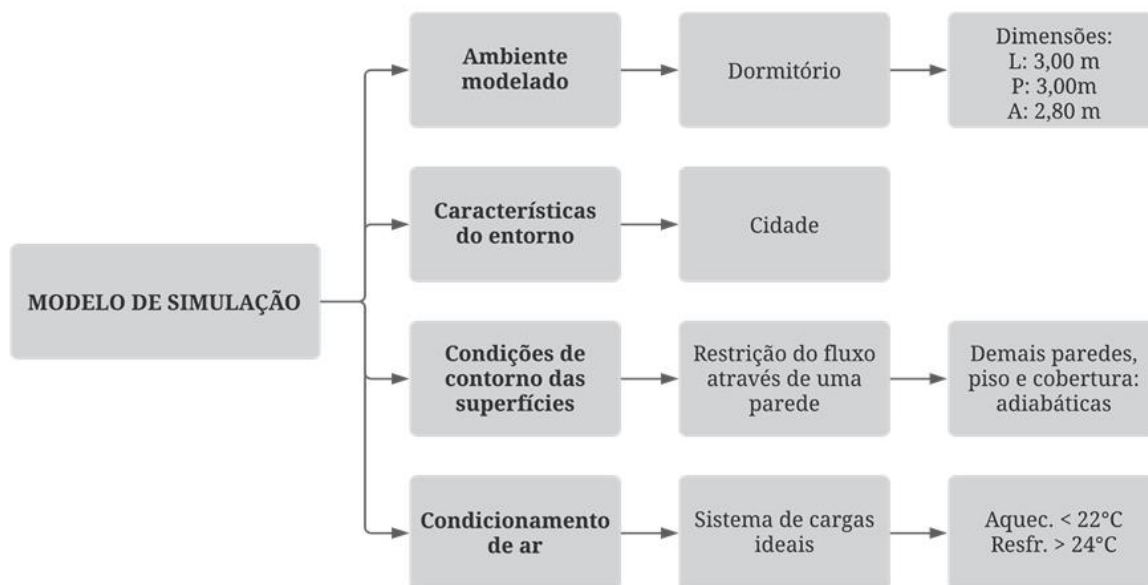
Figura 13 - Modelagem do ambiente modelo de testes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido à finalidade da investigação se voltar exclusivamente para o desempenho térmico da parede frente às condições climáticas locais, optou-se por permitir trocas de calor com o ambiente externo somente em uma das quatro paredes do ambiente, definindo as demais superfícies do ambiente (paredes, piso e cobertura) como adiabáticas, similar ao procedimento utilizado por Dias (2016). O entorno do ambiente foi definido como cidade (*Terrain:City*), por tratar-se de uma avaliação em uma cidade com várias edificações no entorno. Devido a análise de desempenho ser baseada nas cargas térmicas de condicionamento do ambiente, o interior deste foi condicionado artificialmente para que as cargas pudessem ser contabilizadas, utilizando para isso o sistema de cargas térmicas ideais (*Ideal Loads Air System*), com temperaturas do termostato definidas em 22°C para aquecimento, e 24°C para resfriamento. Estas temperaturas têm por objetivo simular uma temperatura ambiente de relativo conforto térmico, sendo também temperaturas utilizadas por Dias (2016) e, determinadas pelo INMETRO (2012), para quantificação das cargas térmicas necessárias para o condicionamento do ar do ambiente. Devido a análise ser referida somente a influência do clima, não foram consideradas as contribuições de calor advindas do uso de equipamentos elétricos, e nem da ocupação de pessoas. Na Figura 14 é apresentado um fluxograma resumo das considerações feitas para o modelo de simulações.

Figura 14 - Fluxograma resumo das definições do modelo simulado



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 COMPOSIÇÕES DE PAREDES

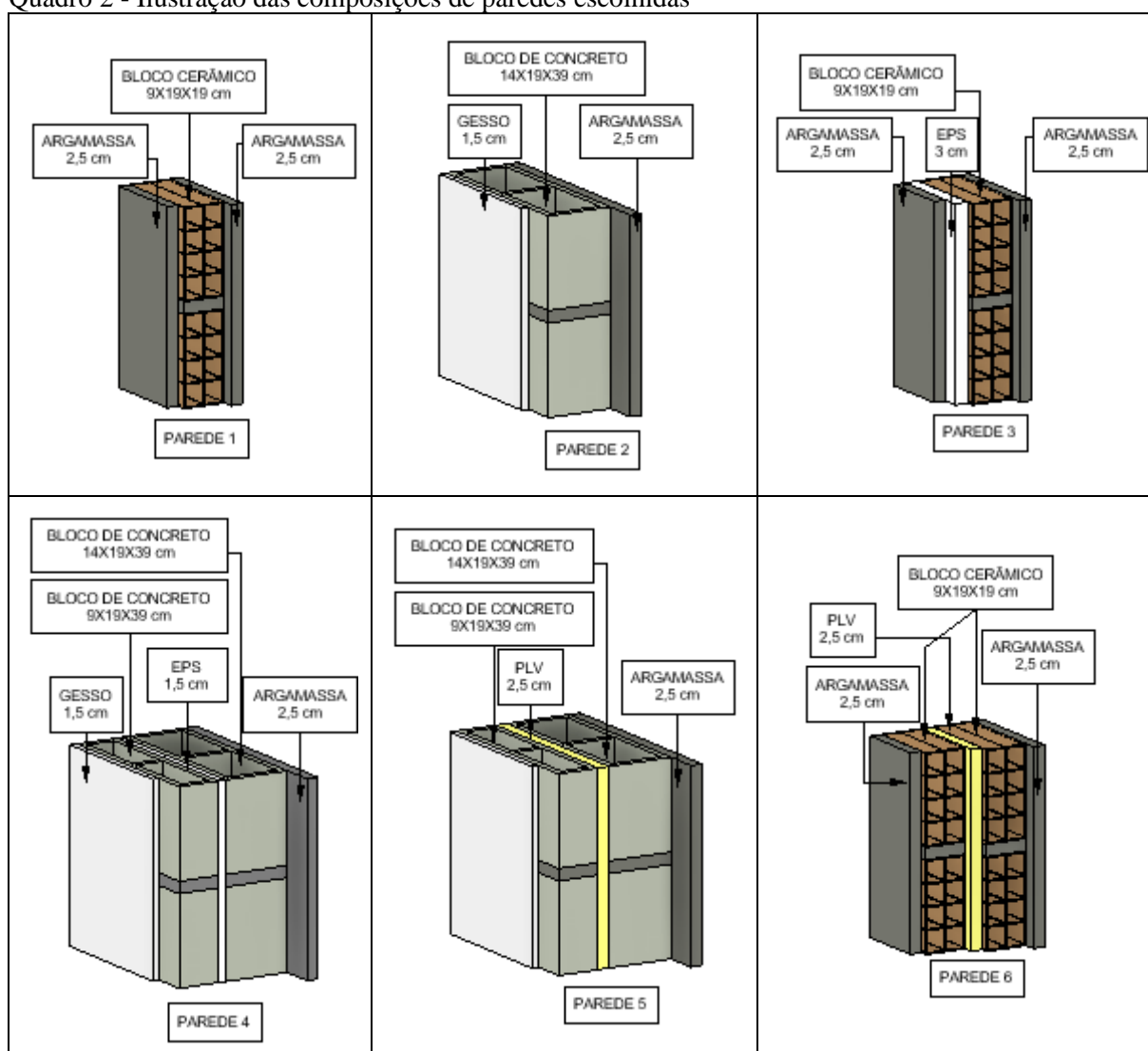
Utiliza-se no presente trabalho o termo “composição” para especificar quais materiais compõem uma parede, sendo cada composição de parede identificada por um número: Parede 1, Parede 2, ..., Parede X. Deste modo a escolha das composições de paredes a serem utilizadas neste trabalho teve como objetivo proporcionar uma análise do desempenho térmico das principais paredes utilizadas no município de Barreiras, bem como avaliar a influência da variação de espessura de diferentes materiais, e promover uma análise comparativa entre as propriedades consideradas relevantes pelas normas de desempenho térmico. Deste modo, conforme a Tabela 7, foram escolhidas seis composições de paredes dentre as 27 analisadas por Araújo (2018), baseando-se nos seguintes critérios: uso comum em Barreiras; cumprimento da NBR 15575 (ABNT, 2013); cumprimento da NBR 15220 (ABNT, 2005); e composições com transmitância térmica decrescente, propriedade que demonstrou, conforme Marques (2013), estar associada ao aumento do desempenho térmico. Os valores apresentados na Tabela 7 referentes a transmitância, capacidade térmica e atraso térmico, são os correspondentes para cada composição de parede adotado, conforme calculado por Araújo (2018).

Tabela 7 – Critérios e propriedades térmicas das paredes escolhidas para análise

Critérios para a escolha da composição da parede	Parede	Transmitância térmica - U (W/m ² .K)	Capacidade térmica - C _T (kJ/(m ² .K))	Atraso térmico - φ (horas)
Uso comum em Barreiras/Atende aos critérios da NBR 15575	1	2,32	146,87	3,32
	2	2,63	302,51	4,84
Atende aos critérios da NBR 15220	3	0,81	147,50	6,68
Composições com transmitância térmica decrescente	4	1,11	483,23	11,61
	5	0,90	483,29	13,17
	6	0,77	186,92	8,19

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Ilustração das composições de paredes escolhidas



Fonte: Adaptado de Araújo (2018)

A composição completa das paredes, bem como a descrição ilustrativa por camadas de material podem ser vistas no Quadro 7 presente no anexo.

3.3 PARÂMETROS ANALISADOS

Para determinar a influência dos parâmetros orientação solar, absorvância térmica, e espessura dos materiais, no desempenho térmico das paredes, foram realizadas simulações paramétricas, que consistiram em uma nova simulação para cada parâmetro modificado, sendo os mesmos subdivididos em valores de referência, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros que serão analisados e seus respectivos valores

Parâmetro		Valores
Orientação solar		Oeste
		Sul
Absortância (α)	Cor clara	0,30
	Cor média	0,50
	Cor escura	0,70
Espessura dos materiais	Argamassa	1,50 cm; 2,50 cm; 3,50 cm
	Gesso	0,50 cm; 1,50 cm; 2,00 cm
	Placa de EPS (isopor)	0,50 cm; 1,50 cm; 3,00 cm
	Painel semirrígido de lã de vidro (PLV)	2,50 cm; 5,00 cm; 7,50 cm

Fonte: Elaborado pelo autor.

A escolha das orientações seguiu as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2013), a qual orienta a realização da simulação conforme a implantação da edificação ou conforme a orientação mais crítica do ponto de vista térmico, que, conforme a mesma, seriam as orientações oeste para o verão e sul para o inverno. Os parâmetros de absorvância foram adotados também conforme sugere a norma: cores claras, médias e escuras. Já os parâmetros de espessura dos materiais, foram adotados conforme recomendações práticas para os revestimentos (argamassa e gesso) e espessuras comerciais dos materiais utilizados (EPS e painel semirrígido de lã de vidro).

3.4 PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Este item apresenta como foram realizadas as simulações, quais dados foram utilizados para realizá-las, e o procedimento adotado no programa, bem como informações pertinentes ao seu funcionamento.

3.4.1 Etapas de simulação

As simulações foram divididas em duas etapas. A primeira etapa consistiu em simular cada uma das seis composições de paredes conforme foram propostas por Araújo (2018), sem alteração de nenhum parâmetro, resultando em 6 simulações. Na segunda etapa foram realizadas simulações paramétricas, onde para cada parâmetro modificado foi realizada uma nova simulação, o que resultou em uma combinação de parâmetros para cada composição de parede, chegando a um total de 504 simulações. Os itens a seguir descrevem quais os objetivos e as considerações pertinentes para a realização de cada etapa de simulação, podendo ser visualizado o resumo das etapas no fluxograma da Figura 18.

3.4.1.1 Primeira etapa

Esta etapa teve como objetivo determinar o desempenho térmico das seis composições de paredes escolhidas conforme foram propostas por Araújo (2018), sendo o desempenho determinado pela quantificação de cargas térmicas para resfriamento e aquecimento do ambiente. Estas cargas são fornecidas ou retiradas do ambiente, baseadas nas temperaturas do termostato, caracterizando um melhor desempenho quanto menores forem as cargas necessárias.

Para que as cargas térmicas fossem obtidas, foi necessário adotar um sistema de condicionamento de ar, sendo escolhido para este trabalho o *Ideal Loads Air System*, que, conforme DOE (2021), seria o sistema mais simples de ser utilizado quando se estuda o desempenho térmico de edificações. Este sistema trata-se de um condicionador de ar de cargas ideais, o que significa dizer que seria um sistema totalmente eficiente, onde ele acrescenta ou remove exatamente a carga térmica necessária para condicionar o ambiente nas temperaturas definidas no termostato.

Além das considerações apresentadas, alguns parâmetros externos à composição da parede precisaram ser definidos para a realização da simulação, sendo estes a orientação e a absorvância térmica. Para tais parâmetros a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece as seguintes recomendações para avaliações por simulação computacional:

- orientação mais crítica do ponto de vista térmico (pelo menos uma face voltada para o oeste);
- absorvância das paredes de acordo com a cor definida em projeto, ou simulação para três alternativas de cor.

Deste modo seguiu-se as orientações estabelecidas pela norma, fixando para as seis paredes a orientação oeste, e definindo a absorvância térmica no valor de 0,5 como um parâmetro intermediário de análise de dados. Com isso a primeira etapa teve a configuração para as simulações conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros fixos para a primeira etapa de simulação

Parede	Orientação	Absorvância	Espessura dos materiais
1	Oeste	Cor média 0,50	Conforme Quadro 6 presente no anexo.
2			
3			
4			
5			
6			

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1.2 Segunda etapa

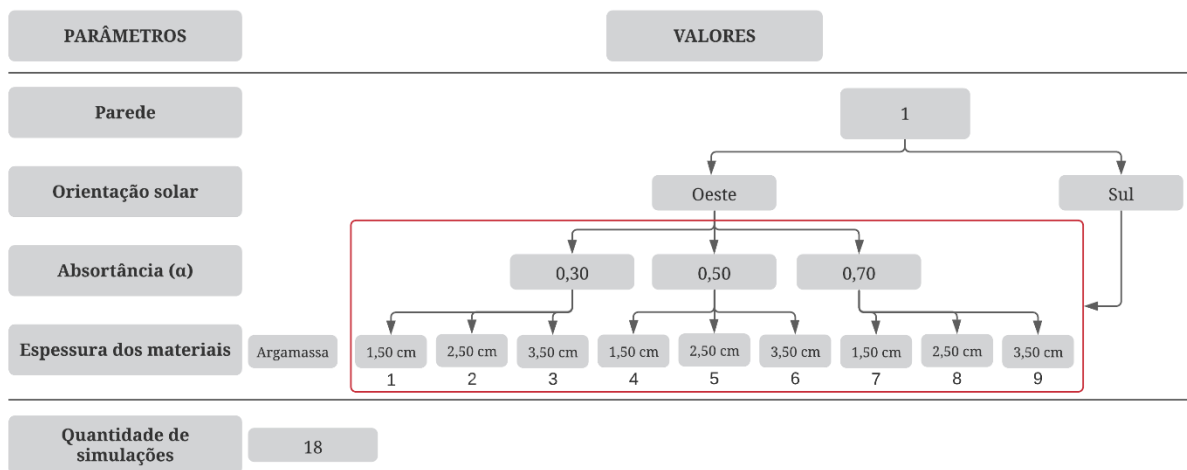
A segunda etapa teve como objetivo determinar as cargas térmicas provenientes da mudança de cada um dos parâmetros apresentados no item 3.3, conforme já mencionado, utilizando o procedimento de simulações paramétricas, onde cada mudança de parâmetro resultou em uma nova combinação, e conseqüentemente em uma nova simulação.

Para exemplificar como foram feitas as simulações paramétricas será utilizada a Parede 1. A Parede 1 possui a seguinte composição: “argamassa + bloco cerâmico + argamassa”, desta forma, os parâmetros definidos no Quadro 3, possíveis de serem modificados para essa composição de parede são:

- orientação solar em dois níveis (Oeste e Sul);
- absorvância térmica em três níveis (0,3; 0,5 e 0,7);
- espessura de um tipo de material em três níveis (argamassa: 1,50 cm; 2,50 cm; 3,50 cm).

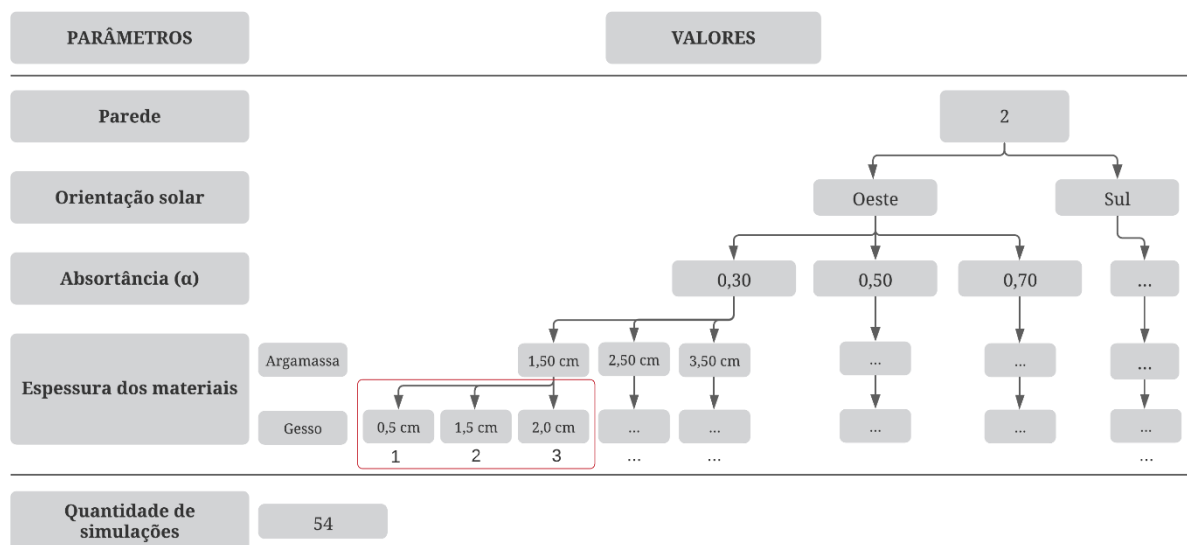
Realizando a mudança de parâmetros para cada um dos níveis possíveis (Oeste-0,30-1,50 cm, Oeste-0,30-2,50 cm, Oeste-0,30-3,50 cm, ...) obtêm-se um total de 18 combinações para a Parede 1, o que será a quantidade de simulações a serem efetuadas. As combinações que foram realizadas para a Parede 1 podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 15, onde são apresentadas nove combinações para a orientação oeste, as quais também foram feitas para a orientação sul, resultando em mais nove combinações. O mesmo processo de combinações dos parâmetros foi realizado para as demais composições de paredes, podendo ser visualizado resumidamente para a Parede 2 no fluxograma da figura 16, e de modo geral para todas as paredes a partir do fluxograma na Figura 17.

Figura 15 - Fluxograma de combinações de parâmetros para as simulações paramétricas da Parede 1



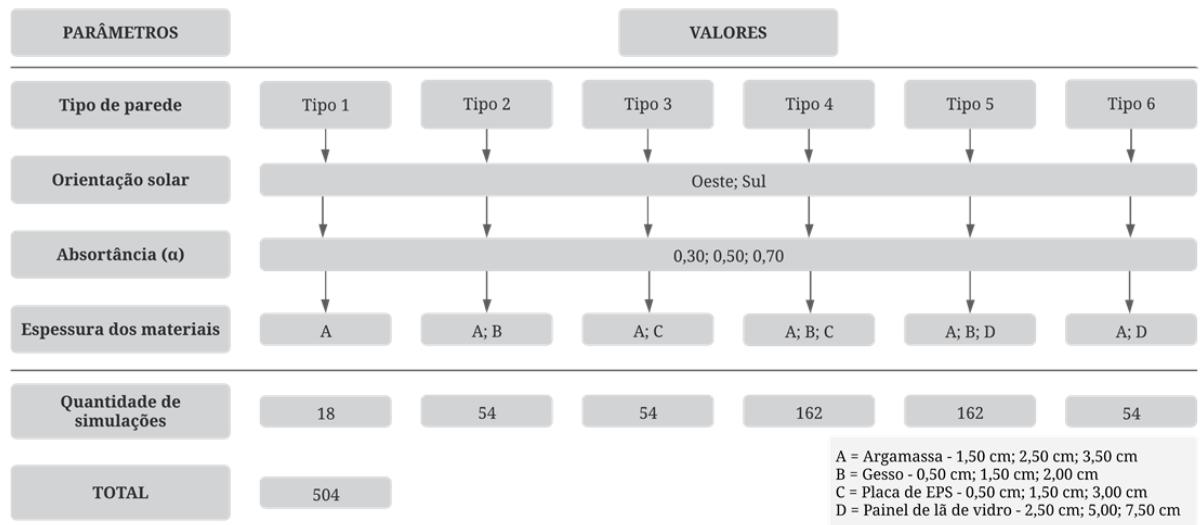
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Fluxograma de combinações de parâmetros para as simulações paramétricas da Parede 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

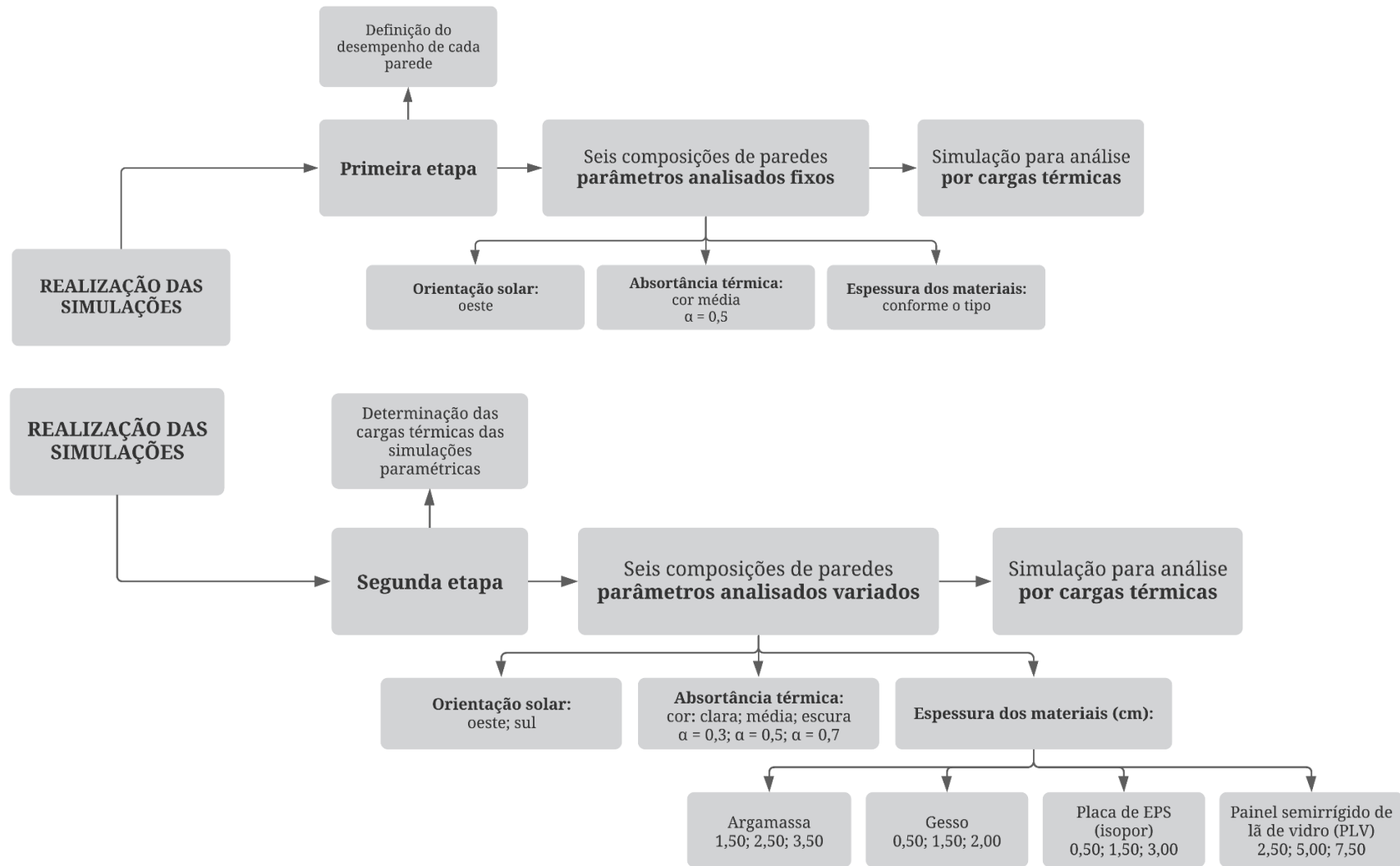
Figura 17 - Fluxograma das simulações paramétricas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em conjunto com as simulações paramétricas, foram calculadas através de um *script* em linguagem *Python*, as propriedades de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C_T), para cada alteração das variáveis conforme os métodos de cálculo apresentados na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), objetivando uma análise comparativa entre o desempenho térmico e as referidas propriedades térmicas da parede. Os valores referentes as propriedades dos materiais utilizados no cálculo são os mesmos apresentados no Quadro 7 presente no ANEXO C.

Figura 18 - Fluxograma resumo das etapas de simulações



Fonte: Elaborado pelo autor.

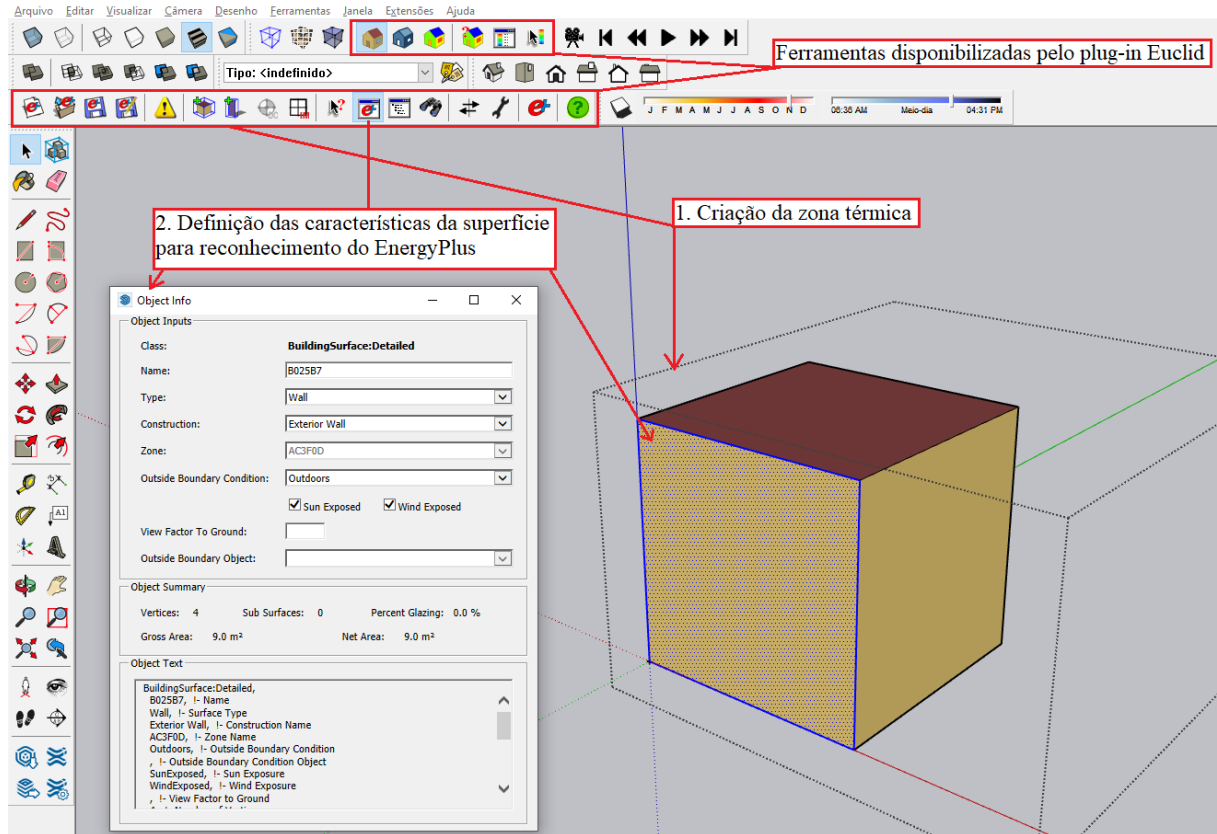
3.4.2 Realização das simulações

Para a realização das simulações, como mencionado no início deste capítulo, foi utilizado o programa *EnergyPlus* (versão 9.4), sendo utilizado o *plug-in Euclid*, inserido no programa *SketchUp*, como ferramenta adicional somente para a modelagem do ambiente.

3.4.2.1 Modelagem do ambiente

O primeiro passo para a realização das simulações consistiu na modelagem do ambiente que será simulado. Para a realização da modelagem optou-se por utilizar o *plug-in Euclid* (versão 9.4.3), o qual teve como objetivo facilitar a modelagem do ambiente. A modelagem consistiu na criação da zona térmica (ambiente onde atuam os processos de transferência de calor), e definição das dimensões e características das superfícies do ambiente que foi simulado. Após a modelagem o arquivo foi exportado em formato “.idf” para o simulador *EnergyPlus*. Na Figura 19 são apresentadas as principais etapas realizadas na modelagem.

Figura 19 - Principais etapas de modelagem do ambiente no programa *SketchUp*



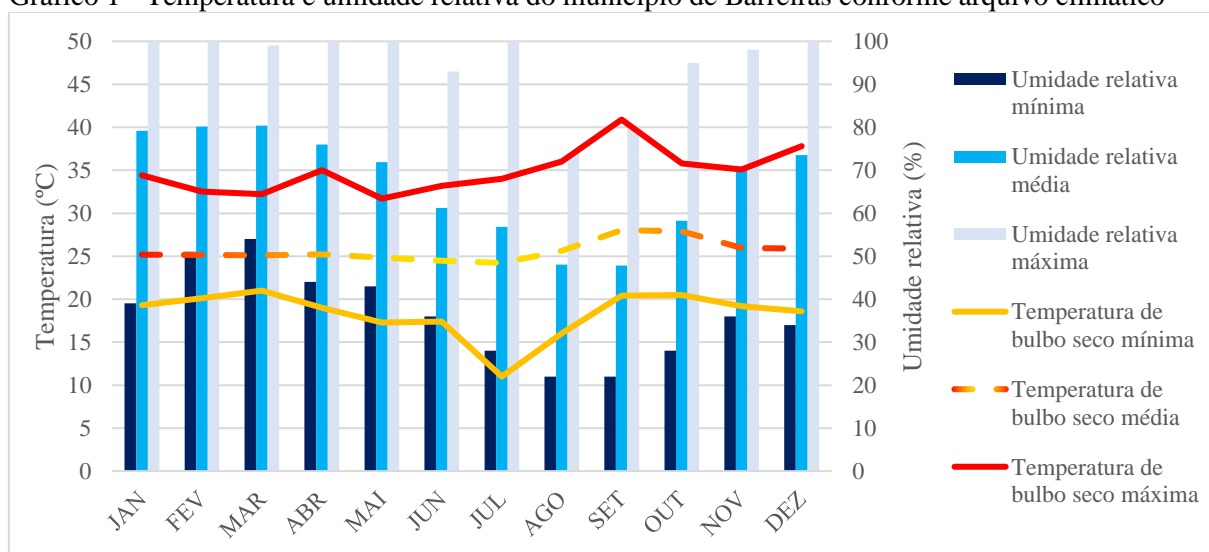
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.2.2 Definição do arquivo climático

Para que a simulação ocorresse de acordo com o clima local, foi utilizado o arquivo climático do município de Barreiras-Ba, disponível online em “*climate.onebuilding.org*”. O arquivo climático utilizado é do tipo TMY (*Typical Meteorological Year*), e é formado por uma série de dados meteorológicos entre os anos 1975-2018. Resumidamente, os arquivos TMY são formados com base em uma sequência de dados históricos de vários anos, onde, para cada estação e cada mês, exclui-se sucessivamente os anos mais quentes e mais frios, até que reste apenas um, considerado como o mês típico do local, sendo então o TMY formado pelos 12 meses selecionados, podendo ser estes meses de diferentes anos (RORIZ, 2012).

Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o procedimento de simulação computacional para a zona bioclimática 7 (a qual Barreiras está inserida) deve ser realizado para um dia típico de verão, sendo dispensadas análises para o inverno. Conforme a norma, o dia típico de verão é definido como o dia mais quente do ano, caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local. Deste modo, para determinar o dia típico de verão, e visualizar o comportamento do clima do município baseado no arquivo climático, foi construído o Gráfico 1, onde foram plotados os valores de máximas, mínimas e médias mensais para a temperatura e umidade relativa do ar, possibilitando assim determinar o dia típico de verão, o qual foi definido como o dia 18/09.

Gráfico 1 - Temperatura e umidade relativa do município de Barreiras conforme arquivo climático

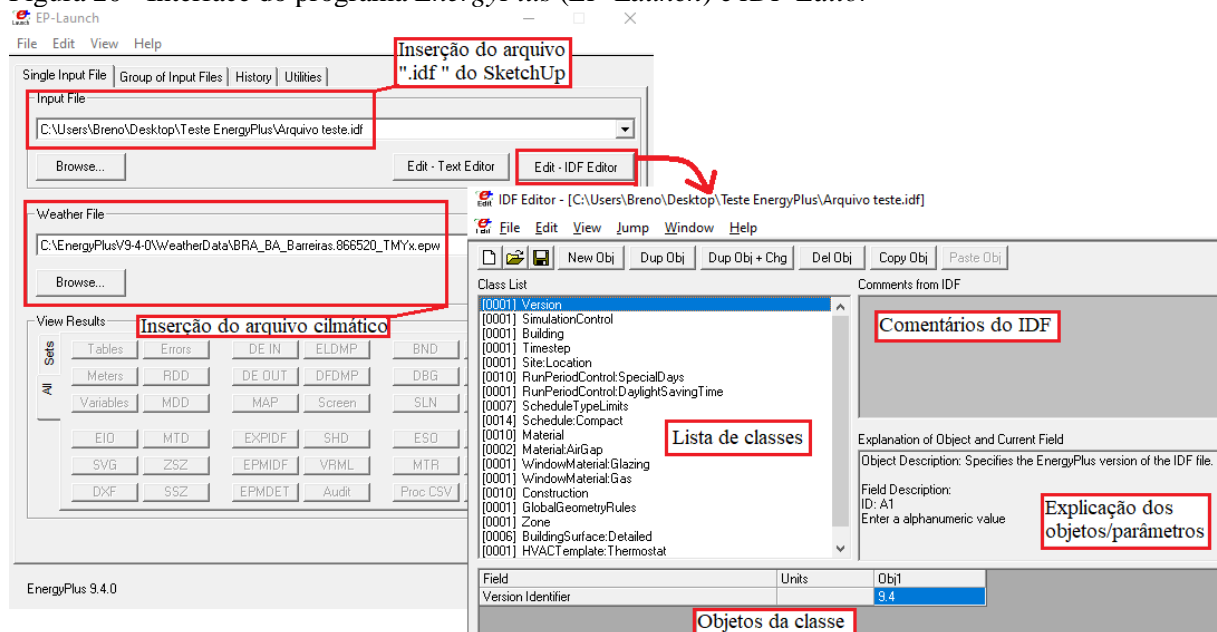


Fonte: Adaptado de *climate.onebuilding.org* (2021).

3.4.2.3 Configurações de simulação

Após a modelagem do ambiente, as configurações seguiram no *EP-Launch*, que seria a interface de operação do *EnergyPlus*. No *EP-Launch* foram inseridos o arquivo “.idf” da modelagem, e o arquivo climático de Barreiras-Ba, em seguida foram realizadas as configurações necessárias à simulação. Na Figura 20 são apresentadas a interface do *EnergyPlus* (*EP-Launch*) e a tela de configuração do programa (*IDF Editor*).

Figura 20 - Interface do programa *EnergyPlus* (*EP-Launch*) e *IDF Editor*



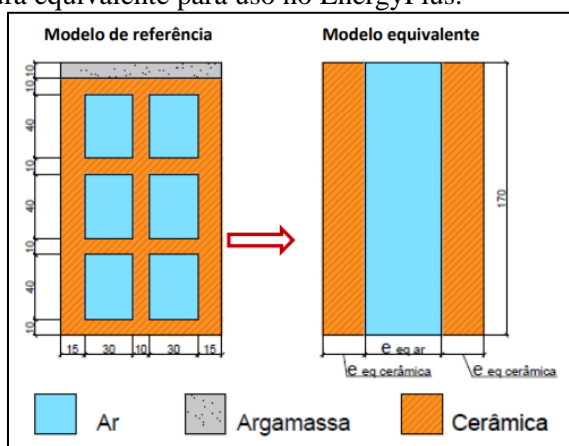
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a realização das simulações propostas, as principais classes que foram configuradas foram as seguintes:

- *Building* – relativa à orientação da edificação;
- *RunPeriod* – para definição do dia em que a simulação seria realizada;
- *Material* – para especificar as propriedades dos materiais;
- *Construction* – onde foram definidas as composições das paredes;
- *HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem* – para definição do sistema de condicionamento de ar e sua operação;
- *Output:Variable* – para escolher as variáveis que seriam extraídas do resultado das simulações.

Cabe destacar que, conforme Weber et al. (2017), o *EnergyPlus* realiza o cálculo de transferência de calor entre os elementos construtivos em forma de camadas em série, não considerando as características de espessura de argamassa de assentamento entre um bloco e outro, e nem as divisões entre os furos dos blocos onde se concentram as câmaras de ar. Devido a isso, para uma melhor representatividade da realidade nas simulações, Weber et al. (2017) realizaram em seu trabalho o cálculo de espessuras equivalentes para diferentes composições de elementos construtivos, conforme a Figura 21. Além disso, os autores disponibilizam em seu trabalho uma biblioteca de diferentes elementos construtivos para utilização no *EnergyPlus*, com as espessuras equivalentes já calculadas.

Figura 21 - Modelo de espessura equivalente para uso no EnergyPlus.



Fonte: Weber et al. (2017).

Baseando-se nessas considerações para o presente trabalho, os materiais que compõem as diferentes paredes tiveram suas propriedades térmicas e espessuras equivalentes adotadas conforme a biblioteca de elementos construtivos disponibilizada por Weber et al. (2017), com exceção dos materiais EPS e painel semirrígido de lã de vidro, que foram adotados conforme Araújo (2018) devido a não terem sido identificados no trabalho de Weber et al. (2017). Tais espessuras de camadas, bem como as propriedades térmicas dos materiais que serão utilizados para as simulações de cada composição de parede, podem ser vistas no Quadro 7 presente no anexo. O procedimento de cálculo e a validação dos resultados para esse modelo de espessura equivalente, podem ser consultados em Weber et al. (2017).

3.5 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

Para determinar a influência de cada parâmetro no desempenho térmico das composições de paredes simuladas, foi realizada uma análise de variância (ANOVA). Devido a quantidade de dados e a dificuldade em analisar todos em conjunto, optou-se por realizar para cada composição de parede duas ANOVA's, uma para parâmetros externos à composição da parede, e outra para parâmetros inerentes a sua estrutura, onde obteve-se para cada uma das seis composições de parede uma análise para os parâmetros orientação e absorvância, e uma análise para o parâmetro espessura dos materiais. Além destas, também foi realizada uma ANOVA com os valores de transmitância térmica, e uma com os valores de capacidade térmica, abrangendo todas as 504 simulações realizadas. Para todas as análises a variável de resposta foi a carga térmica, responsável por determinar o desempenho térmico em todas as simulações.

Previamente a realização da ANOVA, foram verificados os pré-requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias, através dos testes Shapiro-Wilk e Brown-Forsythe, respectivamente. E para diferenciação dos grupos foi utilizado o teste de Tukey para comparações múltiplas, onde as médias que não compartilharam uma letra, indicaram médias significativamente diferentes.

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na fase de análise dos resultados buscou-se mensurar o desempenho térmico das paredes, e compreender a resposta térmica de suas diferentes composições e respectivas variações de parâmetros em relação ao clima local, e ao modelo de simulação utilizado.

A análise dos resultados foi realizada em duas etapas, sendo todas elas baseadas em resultados extraídos ao fim das simulações, diferenciando apenas o tratamento dos dados e as variáveis de análise utilizada, as quais são apresentadas no Quadro 5.

A primeira etapa traz a determinação do desempenho térmico das seis composições de paredes escolhidas para o trabalho, onde estes são classificados e analisados com base nas cargas térmicas por meio de gráficos, e valores de C_T e U .

A segunda etapa apresenta a análise das simulações paramétricas onde é determinada a influência dos parâmetros: orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais. Sendo estes analisados a partir da ANOVA, e de acordo com sua significância nas cargas térmicas das paredes avaliadas.

Quadro 5 - Resultados analisados e variáveis correspondentes no programa para cada etapa de simulação

Primeira etapa: Análise das simulações com parâmetros fixos	
Resultados	Variável de saída do programa (Output: Variable)
Carga térmica de resfriamento	<i>Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy</i>
Carga térmica de aquecimento	<i>Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy</i>
Valor de transmitância térmica	Não disponível – Calculado conforme NBR 15220-2:2005
Valor de capacidade térmica	
Segunda etapa: Análise das simulações paramétricas	
Resultados	Variável de saída do programa (Output: Variable)
Carga térmica de resfriamento	<i>Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy</i>
Carga térmica de aquecimento	<i>Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o objetivo de explicar e justificar os comportamentos resultantes da ANOVA, foram apresentados casos de estudos que trazem análises das variáveis: taxa de radiação solar incidente, temperaturas superficiais internas e externas, capacidade e transmitância térmica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo é apresentada uma discussão do que pôde ser observado a partir da análise das cargas térmicas que foram obtidas no modelo simulado. Vale ressaltar que, para todas as simulações, em nenhum momento foi observado carga térmica de aquecimento, como pode ser visto na Tabela 14 presente no APÊNDICE , desta forma todos os resultados que serão apresentados a seguir são baseados nas cargas térmicas de resfriamento (CgTR).

Na primeira seção é apresentada a análise referente a quantificação das cargas térmicas para as paredes que tiveram seus parâmetros fixados. Na segunda seção, apresentam-se os resultados referente às simulações paramétricas, onde buscou-se quantificar o impacto das variações dos parâmetros e determinar a significância de cada um na CgTR obtida. Na terceira seção foram elaborados dois estudos de caso para analisar e justificar os resultados obtidos nas simulações paramétricas, sendo alvo a taxa de radiação solar incidente e os valores das temperaturas superficiais externas e internas, baseando-se em variáveis que, conforme a literatura, estão relacionadas com os ganhos térmicos de uma edificação.

4.1 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES COM PARÂMETROS FIXOS

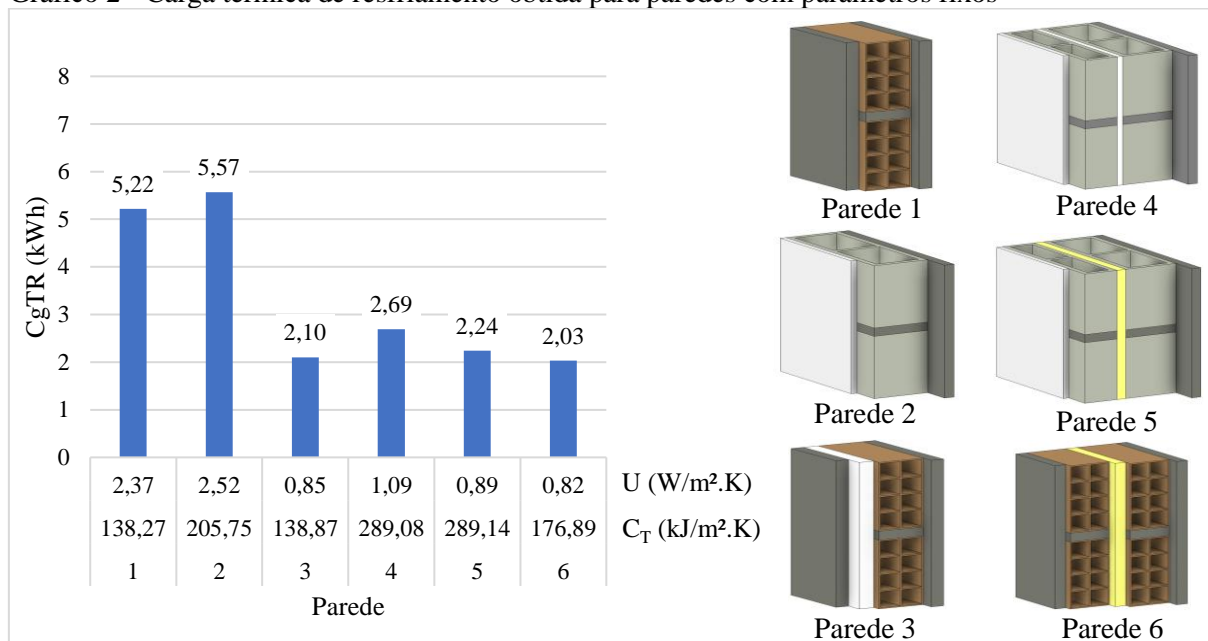
No presente item são apresentados os resultados das cargas térmicas de resfriamento (CgTR) obtidas para cada uma das seis paredes analisadas, sendo estas baseadas nos parâmetros previamente fixados conforme Quadro 4. Percebe-se no Gráfico 2 que as paredes tidas como composições comumente utilizadas no município de Barreiras (Parede 1 e 2) apresentaram os maiores valores de CgTR em relação as demais analisadas, no entanto, apesar de ambas as paredes atenderem aos critérios da NBR 15575-4, a Parede 1 apresentou um menor valor de CgTR em relação a Parede 2, resultando em um melhor desempenho.

A Parede 3, a qual atende os critérios da NBR 15220-3 para a zona bioclimática 7, apresentou um dos melhores resultados, sendo a segunda menor CgTR observada dentre as paredes referência. As paredes 4, 5 e 6, que também atendem a NBR 15220-3, resultaram em uma CgTR consideravelmente menor em relação as paredes comumente utilizadas, sendo o menor valor observado para a parede 6.

Nota-se que o critério de escolha das paredes 4 a 6 (transmitância decrescente) apresentou relação direta com os resultados, haja visto que a redução da transmitância resultou em um decréscimo da CgTR. Já quanto a propriedade de capacidade térmica (C_T), não se observou relação com os resultados de carga térmica de resfriamento, uma vez que as paredes

1 e 3 possuíam a mesma C_T e apresentaram valores de C_{gTR} consideravelmente diferentes. Deste modo, pode-se dizer em uma primeira análise que para o clima local e o modelo de simulação utilizado, a propriedade C_T não apresentou relação direta com a C_{gTR} .

Gráfico 2 - Carga térmica de resfriamento obtida para paredes com parâmetros fixos



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS

Para uma melhor visualização e compreensão dos dados obtidos das simulações, optou-se por trabalhar com as médias dos resultados. Cabe ressaltar que devido a quantidade de dados obtidos e a dificuldade em apresentá-los de uma só vez, os resultados serão analisados e discutidos de acordo com os seguintes critérios: parâmetros externos à composição da parede (orientação e absorvância); parâmetros inerentes a estrutura da parede (materiais).

4.2.1 Orientação e absorvância

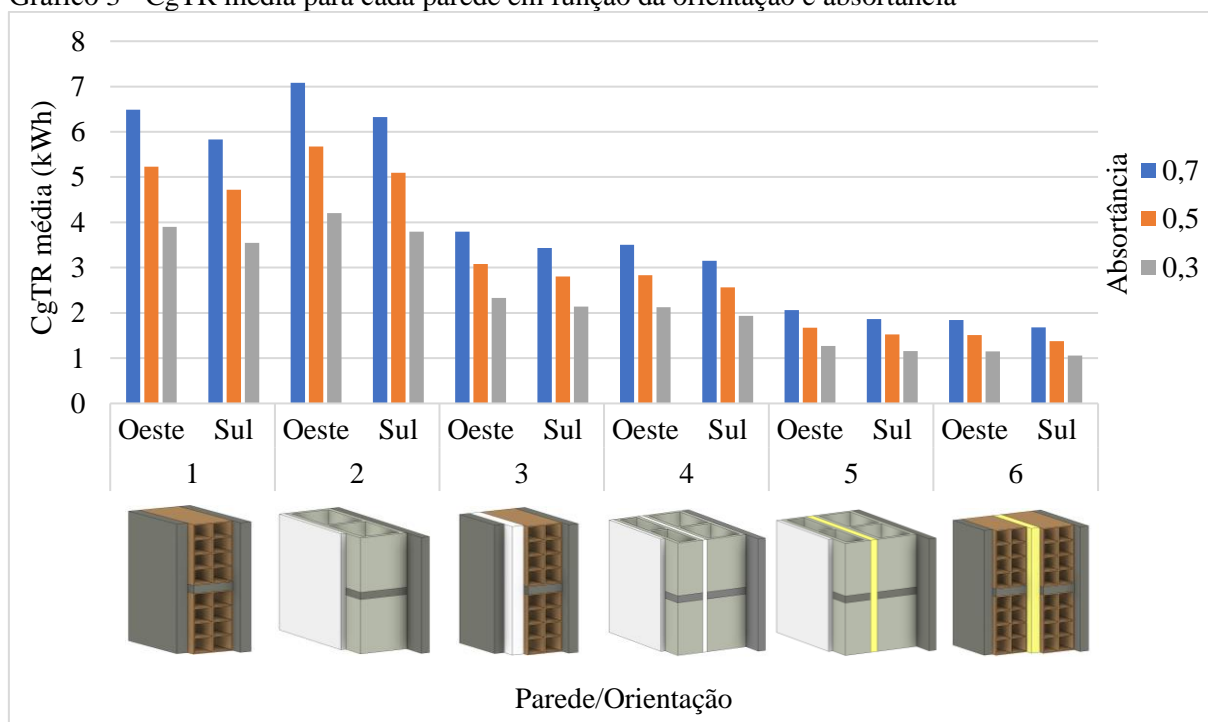
O Gráfico 3 apresenta as médias de C_{gTR} para cada parede simulada em função da orientação e da absorvância. O eixo horizontal traz a subdivisão das paredes (1 a 6) e suas respectivas orientações (oeste e sul), e o eixo vertical representa a C_{gTR} média em kWh. Como pode ser observado, a Parede 2 apresenta a maior carga térmica de resfriamento média, seguida pela Parede 1 e, com uma grande redução em relação a estas, seguem em ordem decrescente as paredes 3 a 6.

Em geral nota-se um comportamento similar ao apresentado na análise feita no item 4, com exceção das médias de CgTR das Paredes 3 e 4, onde antes, com parâmetros fixos, a Parede 3 apresentou um desempenho melhor em relação a Parede 4, porém na análise das médias das simulações paramétricas observa-se o contrário. Esta análise será retomada no item 4.2.3.4.

É bastante perceptível que a mudança de orientação e absorvância promoveram uma variação considerável na carga térmica de resfriamento, onde ao adotar valores menores de absorvância térmica obteve-se uma considerável redução nas médias de CgTR, o mesmo efeito de diminuição também é percebido ao mudar a orientação de oeste para sul, entretanto, em menor escala quando comparado a redução devido às variações de absorvância, sendo estes efeitos observados para todas as paredes.

Relacionando o comportamento dos dois parâmetros nota-se que estes não parecem possuir interação entre si, pois a diminuição da absorvância apresentou uma redução na carga térmica de resfriamento em ambas as orientações, assim como a mudança de orientação de oeste para sul, que manteve seu comportamento de redução em todas as variações de absorvância.

Gráfico 3 - CgTR média para cada parede em função da orientação e absorvância



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Materiais

Neste item são apresentados e discutidos os resultados referentes aos parâmetros modificados que compõem a estrutura da parede, sendo estes referentes às variações de espessura dos materiais. Para uma melhor visualização dos resultados, foram construídos gráficos que relacionam a CgTR média em kWh, para cada combinação de espessura dos materiais que compõem as paredes. Devido a quantidade de dados a serem exibidos, optou-se por apresentar três gráficos que reúnem todas as combinações para cada parede simulada.

Os três gráficos foram construídos da seguinte forma: o eixo horizontal indica o número da parede (1 a 6), e suas subdivisões representam a espessura de cada material que a compõe. As subdivisões que apresentam a sigla “NP”, indicam que a parede não possui o material correspondente a indicação localizada a direita. A exemplo pode ser observada a Parede 1 (composta somente por argamassa) no Gráfico 4, que apresenta apenas variações de argamassa identificadas pelas diferentes cores, não possuindo nenhum dos materiais indicados (Gesso, EPS e PLV). A mesma lógica se aplica aos gráficos 5 e 6. Já no eixo vertical, é apresentada a CgTR média em kWh correspondente a cada variação.

Como pode ser observado nos gráficos 4, 5 e 6, a variação de espessura da argamassa promoveu pouca diferença na CgTR média, sendo a mais considerável localizada na Parede 1, onde o aumento da espessura resultou em uma diminuição da CgTR. No entanto, observa-se casos em que a CgTR média praticamente não foi impactada pela variação de espessura da argamassa, como pode ser visto na parede 3 (Gráfico 4) quando combinada com 1,5 cm e 3,0 cm de EPS, e Paredes 4 (Gráfico 5), 5 e 6 (Gráfico 6), em todas as combinações de espessuras de materiais.

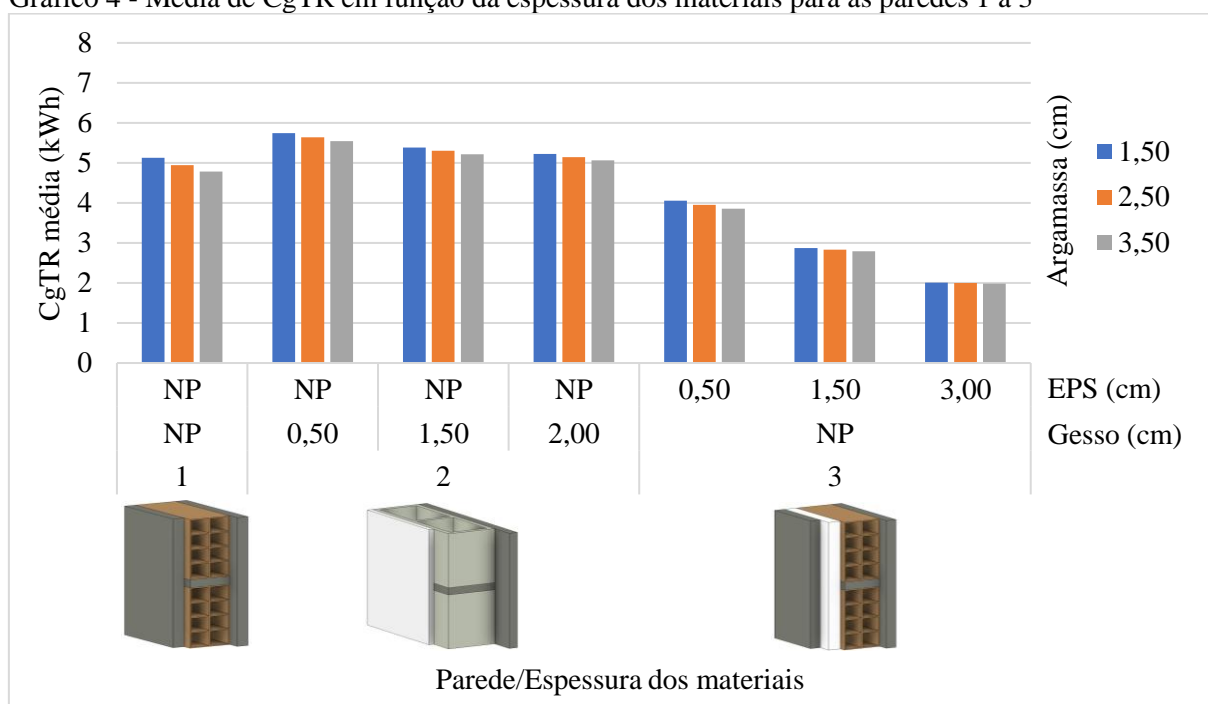
Para o gesso observa-se o mesmo comportamento da argamassa, ao aumentar a espessura ocorre também uma variação na CgTR média, sendo a mais perceptível identificada na Parede 2 (Gráfico 4). Entretanto, o aumento da espessura do gesso aparenta promover uma diminuição na CgTR média maior do que a observada pelo aumento de espessura da argamassa.

Ao analisar os materiais EPS e PLV, nota-se que as paredes que os continham em sua composição resultaram em uma CgTR média consideravelmente menor das demais. Além destes materiais estarem associados às menores CgTR obtidas, as suas variações de espessura resultaram em diferenças na CgTR média, consideravelmente maiores do que as observadas pelas variações da espessura de argamassa e gesso. Em todas as paredes que possuíam EPS ou PLV, o aumento de suas respectivas espessuras implicou em uma diminuição considerável da CgTR média, com exceção das Paredes 5 e 6, onde a mudança de espessura do PLV de 2,5 cm

para 5,0 cm, promoveu uma maior redução na CgTR média em relação a variação de 5,0 cm para 7,5 cm.

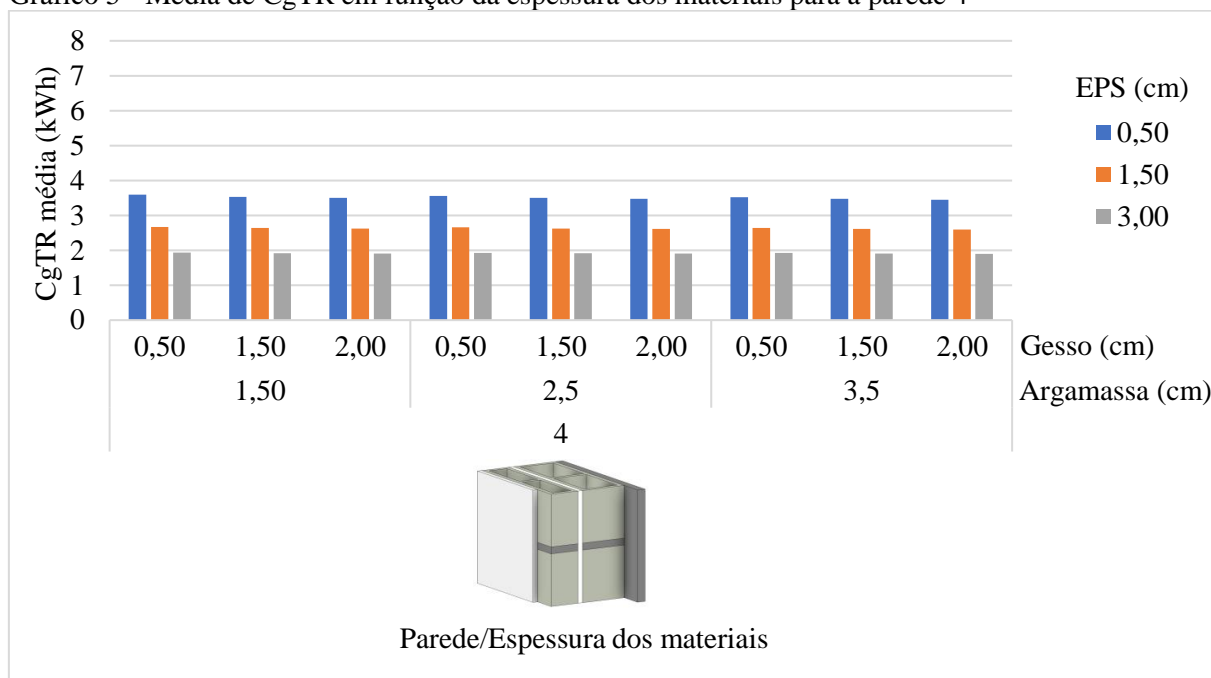
Baseado nisso, percebe-se que dentre as paredes com os melhores desempenhos relacionado à CgTR, a Parede 3 é a que mais se assemelha às composições comumente utilizadas no município, sendo que, mesmo com a menor espessura de EPS em sua composição, apresentou um resultado significativamente melhor do que estas e, quando comparada às demais paredes com dois blocos e com espessuras maiores de material isolante (PLV) em sua composição, a diferença entre a CgTR média não foi tão considerável.

Gráfico 4 - Média de CgTR em função da espessura dos materiais para as paredes 1 a 3



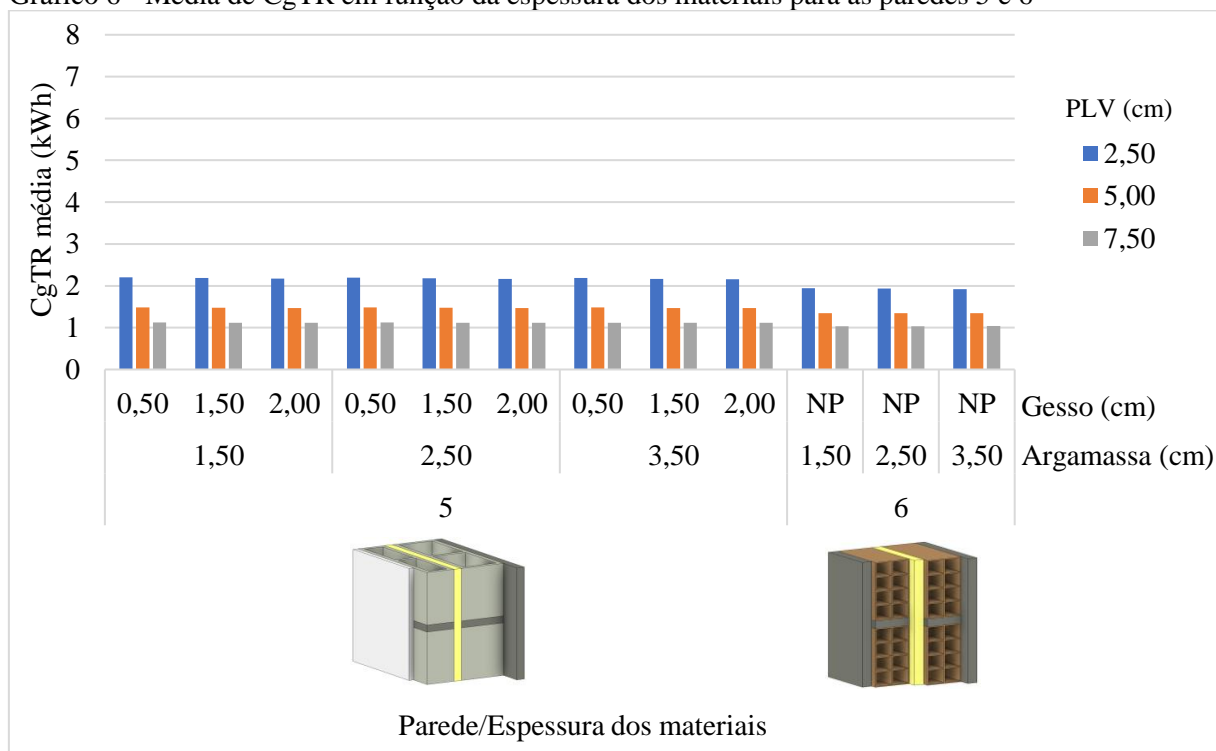
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 - Média de CgTR em função da espessura dos materiais para a parede 4



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 - Média de CgTR em função da espessura dos materiais para as paredes 5 e 6



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para analisar a real influência dos parâmetros avaliados na carga térmica de resfriamento do modelo simulado, o item 4.2.3 apresenta uma análise estatística acerca dos resultados das simulações realizadas, mantendo a divisão de análise abordada no presente item: parâmetros

externos à composição da parede (orientação e absorvância) e parâmetros inerentes a composição da parede (materiais).

4.2.3 Análise estatística

Neste item são analisados se os parâmetros orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais, possuem influência significativa nos resultados de carga térmica de resfriamento no modelo de simulações e clima adotados. Sendo apresentado para a identificação da influência significativa os resultados obtidos da ANOVA e, para determinação de quais as médias dos grupos destes parâmetros se diferem estatisticamente, são apresentados os agrupamentos das médias conforme resultados do teste de Tukey.

4.2.3.1 ANOVA - Orientação solar e absorvância

De acordo com a análise de variância, a influência de um determinado parâmetro pode ser considerada significativa para a variável de resposta, quando o valor de p é menor do que 0,05. Deste modo, como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 8, os parâmetros orientação e absorvância tiveram influência significativa ($p < 0,05$) na carga térmica de resfriamento na grande maioria das paredes analisadas, com exceção das paredes 3 e 6, as quais apenas a absorvância foi significativa. Em relação às interações entre os dois parâmetros não foram observados resultados significativos.

Tabela 8 - Resultados da ANOVA para os parâmetros orientação e absorvância para cada parede

Parede	Fonte	GL ^a	SQ ^b	QM ^c	F ^d	p ^e
1	Orientação	1	1,1603	1,16027	38,58	< 0,001
	Absorvância	2	17,7673	8,88367	295,41	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,0705	0,03527	1,17	0,343
	Erro	12	0,3609	0,03007		
	Total	17	19,359			
2	Orientação	1	4,5182	4,5182	80,28	< 0,001
	Absorvância	2	65,1907	32,5954	579,17	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,2602	0,1301	2,31	0,110
	Erro	48	2,7014	0,0563		
	Total	53	72,6705			
3	Orientação	1	1,0333	1,03335	1,36	0,249
	Absorvância	2	17,1726	8,58628	11,29	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,0659	0,03294	0,04	0,958
	Erro	48	36,4903	0,76021		
	Total	53	54,7621			
4	Orientação	1	2,785	2,7848	6,62	0,011
	Absorvância	2	42,842	21,4211	50,93	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,169	0,0844	0,2	0,818
	Erro	156	65,618	0,4206		
	Total	161	111,414			
5	Orientação	1	0,943	0,94302	4,78	0,030
	Absorvância	2	14,6956	7,34782	37,21	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,0556	0,0278	0,14	0,869
	Erro	156	30,8039	0,19746		
	Total	161	46,4982			
6	Orientação	1	0,2243	0,22427	1,38	0,246
	Absorvância	2	3,8493	1,92464	11,82	< 0,001
	Orientação*Absorvância	2	0,0132	0,00662	0,04	0,960
	Erro	48	7,8177	0,16287		
	Total	53	11,9045			

As linhas em tons de cinza claro indicam dados não significativos e, em tons cinza escuro e negrito, significativos.

a: Graus de Liberdade; b: Soma dos quadrados; c: Quadrados médios; d: Fisher; e: Probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3.2 Teste de Tukey - Orientação solar e absorvância

Para os parâmetros que foram significativos, observou-se pelo teste de Tukey que houve diferença significativa entre as médias de quase todos os grupos, com exceção da média do parâmetro absorvância na variação de 0,7 para 0,5, nas Paredes 3 e 6 respectivamente, que conforme o teste, mostrou não haver diferença estatisticamente significativa (compartilharam uma mesma letra), podendo assim serem considerados como um mesmo valor, como pode ser observado na Tabela 9. As letras com asterisco na coluna *Agrupamento* indicam os parâmetros que foram significativos na ANOVA.

Tabela 9 - Teste de Tukey para resultados significativos dos parâmetros orientação e absorvância e percentual médio de redução de CgTR

Parede	Parâmetro	Grupo	CgTR média (kWh)	Agrupamento	Comparação de CgTR		
					De	Para	% Redução
1	Orientação	Oeste	5,208	A*	Oeste	Sul	9,75
		Sul	4,700	B*			
	Absortância	0,7	6,160	A*	0,7	0,5	19,24
		0,5	4,975	B*	0,5	0,3	25,09
		0,3	3,727	C*	0,7	0,3	39,50
2	Orientação	Oeste	5,618	A*	Oeste	Sul	10,30
		Sul	5,040	B*			
	Absortância	0,7	6,664	A*	0,7	0,5	19,72
		0,5	5,350	B*	0,5	0,3	25,74
		0,3	3,973	C*	0,7	0,3	40,38
3	Orientação	Oeste	3,068	A	Oeste	Sul	9,02
		Sul	2,791	A			
	Absortância	0,7	3,613	A*	0,7	0,5	18,53
		0,5	2,944	A*	0,5	0,3	24,17
		0,3	2,232	B*	0,7	0,3	38,22
4	Orientação	Oeste	2,742	A*	Oeste	Sul	9,56
		Sul	2,480	B*			
	Absortância	0,7	3,234	A*	0,7	0,5	18,84
		0,5	2,625	B*	0,5	0,3	24,77
		0,3	1,975	C*	0,7	0,3	38,94
5	Orientação	Oeste	1,641	A*	Oeste	Sul	9,30
		Sul	1,488	B*			
	Absortância	0,7	1,929	A*	0,7	0,5	18,42
		0,5	1,574	B*	0,5	0,3	24,29
		0,3	1,191	C*	0,7	0,3	38,24
6	Orientação	Oeste	1,501	A	Oeste	Sul	8,59
		Sul	1,372	A			
	Absortância	0,7	1,760	A*	0,7	0,5	18,02
		0,5	1,443	A*	0,5	0,3	23,33
		0,3	1,106	B*	0,7	0,3	37,15

As linhas em tons de cinza claro indicam dados não significativos e, em tons cinza escuro e negrito, significativos. Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda na Tabela 9 podem ser visualizados por parede, os valores médios de carga térmica de resfriamento (CgTR) para cada um dos valores adotados para os parâmetros orientação e absorvância, bem como o percentual de redução entre as suas variações, o que representa o quanto a comparação indicada diminui a CgTR. Percebe-se que, para todas as paredes, foi unânime a menor CgTR para a orientação sul e para o menor valor de absorvância (0,3).

Baseado nos resultados da análise estatística, percebe-se que a mudança de orientação demonstrou ser um parâmetro com influência significativa na CgTR em quase todas as composições de parede, apresentando nestes casos médias de CgTR significativamente diferentes para cada orientação adotada. Desta forma, nas paredes em que a variação de

orientação foi significativa, a mudança de oeste para sul resultou em um percentual médio de redução na CgTR de 9,73%. Apesar deste parâmetro não ter apresentado influência significativa nas paredes 3 e 6, o comportamento da média para a mudança de orientação também indicou redução na CgTR, com um percentual médio de 8,81%.

Quanto ao parâmetro absorvância, a análise estatística determinou que este apresentou influência significativa em todas as composições de paredes analisadas, sendo que ao reduzir seu valor, menor foi a CgTR resultante, com exceção das variações de 0,7 para 0,5 nas paredes 3 e 6, onde conforme o teste de Tukey não houve diferenças estatisticamente significativas nas médias. Com isso observou-se entre todas as paredes uma redução média na CgTR de 38,73% devido a mudança de absorvância de 0,7 para 0,3.

Desta forma, pela análise estatística realizada conclui-se que dentre os parâmetros externos à composição da parede (orientação e absorvância), ambos apresentaram influência significativa em quase todas as paredes analisadas, sendo que, pela análise das médias, a absorvância apresentou um efeito mais considerável para a redução de CgTR em relação à orientação, podendo a variação deste parâmetro no modelo de simulação e clima adotados, promover uma redução média na CgTR até quatro vezes maior que a mudança da orientação de oeste para sul.

4.2.3.3 ANOVA - Materiais

A partir da Tabela 10 nota-se que apenas as variações de espessura dos materiais EPS e PLV apresentaram resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$), os demais materiais não demonstraram significância de forma isolada e nem combinada. Com estes resultados fica estatisticamente comprovado que apenas as variações de espessura dos materiais EPS e PLV apresentaram influência significativa na CgTR das paredes avaliadas, corroborando com a análise gráfica feita no item 4.2.2.

Tabela 10 - Resultados da ANOVA para as variações de espessura dos materiais de cada parede

Parede	Fonte	GL ^a	SQ ^b	QM ^c	F ^d	p ^e
1	Argamassa (cm)	2	0,3512	0,1756	0,14	0,872
	Erro	15	19,0078	1,2672		
	Total	17	19,359			
2	Argamassa (cm)	2	0,2845	0,14224	0,09	0,913
	Gesso (cm)	2	2,282	1,14102	0,73	0,486
	Argamassa (cm)*Gesso (cm)	4	0,0025	0,00062	0	1
	Erro	45	70,1015	1,55781		
	Total	53	72,6705			
3	Argamassa (cm)	2	0,0931	0,0466	0,11	0,9
	EPS (cm)	2	34,7837	17,3918	39,45	< 0,001
	Argamassa (cm)*EPS (cm)	4	0,0464	0,0116	0,03	0,999
	Erro	45	19,8389	0,4409		
	Total	53	54,7621			
4	Argamassa (cm)	2	0,026	0,0132	0,04	0,964
	Gesso (cm)	2	0,402	0,2012	0,56	0,574
	EPS (cm)	2	62,202	31,1012	86,24	< 0,001
	Argamassa (cm)*Gesso (cm)	4	0	0	0	1
	Argamassa (cm)*EPS (cm)	4	0,01	0,0025	0,01	1
	Gesso (cm)*EPS (cm)	4	0,089	0,0221	0,06	0,993
	Argamassa (cm)*Gesso (cm)*EPS (cm)	8	0	0	0	1
	Erro	135	48,684	0,3606		
Total	161	111,414				
5	Argamassa (cm)	2	0,0012	0,0006	0	0,995
	Gesso (cm)	2	0,0515	0,0258	0,21	0,815
	PLV (cm)	2	29,4826	14,7413	117,44	< 0,001
	Argamassa (cm)*Gesso (cm)	4	0	0	0	1
	Argamassa (cm)*PLV (cm)	4	0,0013	0,0003	0	1
	Gesso (cm)*PLV (cm)	4	0,016	0,004	0,03	0,998
	Argamassa (cm)*Gesso (cm)*PLV (cm)	8	0,0001	0	0	1
	Erro	135	16,9455	0,1255		
Total	161	46,4982				
6	Argamassa (cm)	2	0,0001	0,00004	0	1
	PLV (cm)	2	7,5116	3,75578	38,48	< 0,001
	Argamassa (cm)*PLV (cm)	4	0,0009	0,00023	0	1
	Erro	45	4,3919	0,0976		
	Total	53	11,9045			

As linhas em tons de cinza claro indicam dados não significativos e, em tons cinza escuro e negrito, significativos.

a: Graus de Liberdade; b: Soma dos quadrados; c: Quadrados médios; d: Fisher; e: Probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3.4 Teste de Tukey - Materiais

Na Tabela 11 são apresentados os resultados do teste de Tukey para os materiais que foram tidos como significativos em cada parede, bem como as médias de CgTR para cada um dos materiais utilizados e o percentual de redução entre as variações de espessura de cada material, que representa o quanto a comparação indicada diminui a CgTR. Conforme o teste de Tukey, houve diferença estatisticamente significativa entre as médias de todas as variações de

espessuras dos materiais EPS e PLV. As letras com asterisco na coluna *Agrupamento* indicam os parâmetros que foram significativos na ANOVA.

Tabela 11 - Teste de Tukey para resultados significativos dos materiais e percentual médio de redução devido as variações de espessuras

Parede	Parâmetro	Grupo	CgTR média (kWh)	Agrupamento	Comparação de CgTR		
					De	Para	% Redução
1	Argamassa (cm)	1,50	5,130	A	1,50	2,50	3,64
		2,50	4,943	A	2,50	3,50	3,14
		3,50	4,788	A	1,50	3,50	6,66
2	Argamassa (cm)	1,50	5,418	A	1,50	2,50	1,67
		2,50	5,328	A	2,50	3,50	1,64
		3,50	5,241	A	1,50	3,50	3,28
	Gesso (cm)	0,50	5,606	A	0,50	1,50	6,06
		1,50	5,266	A	1,50	2,00	2,88
		2,00	5,114	A	0,50	2,00	8,77
3	Argamassa (cm)	1,50	2,982	A	1,50	2,50	1,81
		2,50	2,928	A	2,50	3,50	1,63
		3,50	2,880	A	1,50	3,50	3,41
	EPS (cm)	0,50	3,957	A*	0,50	1,50	28,39
		1,50	2,834	B*	1,50	3,00	29,48
		3,00	1,998	C*	0,50	3,00	49,50
4	Argamassa (cm)	1,50	2,626	A	1,50	2,50	0,56
		2,50	2,612	A	2,50	3,50	0,63
		3,50	2,595	A	1,50	3,50	1,19
	Gesso (cm)	0,50	2,678	A	0,50	1,50	3,02
		1,50	2,597	A	1,50	2,00	1,49
		2,00	2,558	A	0,50	2,00	4,47
	EPS (cm)	0,50	3,394	A*	0,50	1,50	24,53
		1,50	2,561	B*	1,50	3,00	26,66
		3,00	1,878	C*	0,50	3,00	44,65
5	Argamassa (cm)	1,50	1,568	A	1,50	2,50	0,15
		2,50	1,565	A	2,50	3,50	0,27
		3,50	1,561	A	1,50	3,50	0,42
	Gesso (cm)	0,50	1,588	A	0,50	1,50	1,78
		1,50	1,560	A	1,50	2,00	0,94
		2,00	1,545	A	0,50	2,00	2,70
	PLV (cm)	2,50	2,133	A*	2,50	5,00	31,82
		5,00	1,454	B*	5,00	7,50	23,96
		7,50	1,106	C*	2,50	7,50	48,16
6	Argamassa (cm)	1,50	1,438	A	1,50	2,50	0,12
		2,50	1,436	A	2,50	3,50	0,08
		3,50	1,435	A	1,50	3,50	0,19
	PLV (cm)	2,50	1,932	A*	2,50	5,00	30,45
		5,00	1,344	B*	5,00	7,50	23,15
		7,50	1,033	C*	2,50	7,50	46,55

As linhas em tons de cinza claro indicam dados não significativos e, em tons cinza escuro e negrito, significativos. Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pôde ser observado pelas médias na Tabela 11, o aumento da espessura de todos os materiais resultou em um menor valor de CgTR. Para a argamassa, a maior variação ocorreu na parede 1, onde a espessura de 1,50 cm e 3,50 cm resultaram em uma CgTR média de 5,130 kWh e 4,788 kWh, respectivamente, proporcionando uma redução em kWh de 6,66%. Com o gesso a redução na CgTR foi um pouco maior que a observada na argamassa, sendo a maior variação observada na parede 2, onde as espessuras de gesso de 0,50 cm e 2,00 cm, resultaram em uma CgTR média de 5,606 kWh e 5,114 kWh, respectivamente, correspondendo a uma redução em kWh de 8,77% referente a variação das respectivas espessuras.

No entanto, como também observado na análise gráfica do item 4.2.2, as menores cargas térmicas de resfriamento e maiores reduções, estão associadas aos materiais EPS e PLV, e aos seus respectivos aumentos de espessura. A maior variação na CgTR obtida para o EPS, pode ser observada na parede 3, onde a variação da espessura de 0,50 cm para 3,00 cm proporcionou uma redução de 49,50%. Já para o PLV, a maior variação foi observada na parede 5, onde a mudança de espessura de 2,50 cm para 7,50 cm promoveu uma redução na CgTR de 48,16%.

Baseado na comparação das médias e na análise estatística, fica evidente a baixa influência da variação de espessura dos materiais argamassa e gesso, sendo estatisticamente confirmado que as variações de espessura adotadas para estes materiais não promoveram influências significativas na CgTR para o ambiente e clima simulados. Já a variação de espessura dos materiais EPS e PLV proporcionaram uma redução estatisticamente significativa na CgTR para cada espessura adotada, sendo que, quanto maior a espessura, menor foi a CgTR resultante no modelo simulado.

No geral o comportamento individual dos materiais em relação à CgTR, mostrou-se graficamente e, estatisticamente, bastante similar para todas as paredes analisadas. No entanto, cabe ressaltar que as espessuras adotadas para os materiais EPS e PLV, são bastante diferentes, sendo a maior espessura adotada para o EPS apenas 0,50 cm maior que a espessura mínima adotada para o PLV. Devido a isso, observa-se na tabela das médias que as paredes com EPS apresentaram uma CgTR consideravelmente maior do que as paredes com PLV, chegando a valores similares apenas quando as espessuras são próximas (3,00 cm para o EPS e 2,50 cm para o PLV). Atribui-se este fato à diferença notada no item 4.2.1, ao comparar o comportamento gráfico entre os resultados da análise com parâmetros fixos, e as médias provenientes das variações de orientação e absorvância.

É importante ressaltar novamente o desempenho da Parede 3 com a maior espessura de EPS (3,00 cm), a qual apesar de resultar em uma CgTR 52% maior quando comparada à parede de menor CgTR apresentada na Tabela 11 (Parede 6 com PLV de 7,50 cm), demonstrou um

desempenho relacionado à essa variável bastante interessante, quando considerado que esta parede possui um bloco a menos, e um material isolante 60% menor, além de como mencionado no item 4.2.2, ser uma composição de parede bastante similar à Parede 1, utilizada no município, levando a ser uma opção fortemente considerável em termos de utilização prática.

4.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

Para compreender o que promoveu os efeitos observados anteriormente, foram realizados dois estudos de caso mantendo a divisão de análise entre parâmetros externos à composição da parede, e parâmetros inerentes a sua estrutura. Sendo que para a interpretação dos resultados foram construídos gráficos com as variáveis apresentadas na Tabela 12, sendo estas obtidas pelo *EnergyPlus*. Como as respostas das paredes às variações dos parâmetros foram similares, optou-se por escolher as paredes comumente utilizadas no município e algumas de suas variações para os estudos de caso, conforme Figura 22 e Figura 23.

Tabela 12 - Variáveis de resposta para análise do comportamento térmico das paredes

Taxa de radiação incidente na superfície externa por área (W/m^2).

Taxa de ganho de calor por radiação solar na superfície externa por área (W/m^2).

^a Taxa de armazenamento de calor na superfície por área (W/m^2).

^b Taxa média de transferência de calor por condução na superfície, por área (W/m^2).

Temperatura da superfície externa ($^{\circ}C$).

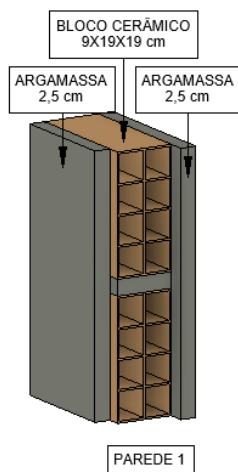
Temperatura da superfície interna ($^{\circ}C$).

a Valores positivos indicam calor sendo armazenado no núcleo da parede e, negativos indicam perda deste.

b Valores positivos indicam fluxo no sentido do interior da zona térmica e, negativos no sentido do exterior.

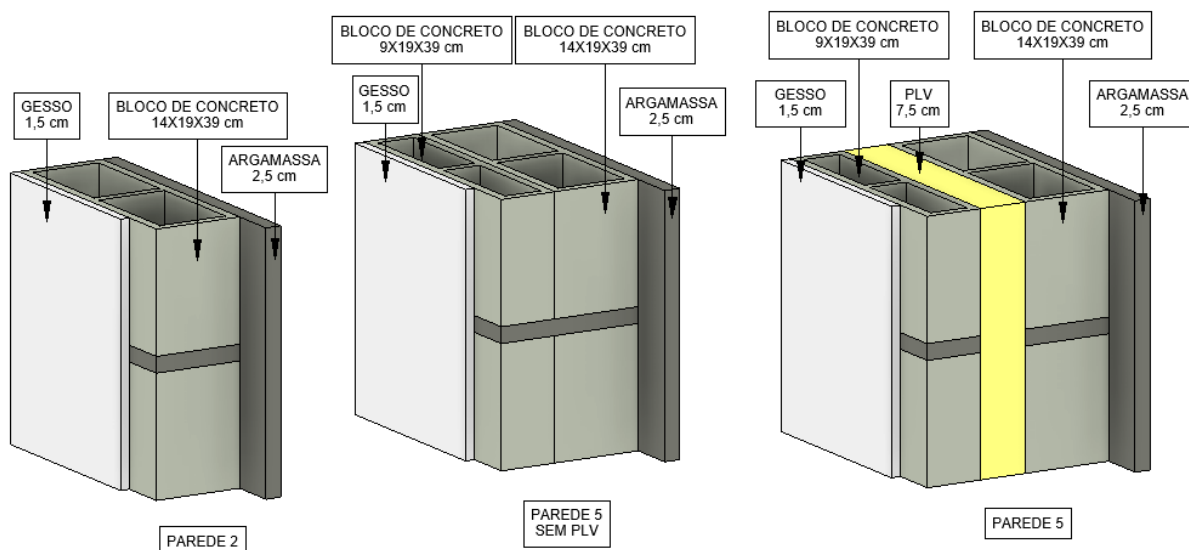
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Paredes utilizadas nos estudos de caso: orientação e absortância



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Paredes utilizadas no estudo de caso: espessura dos materiais



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 Orientação e absorvância

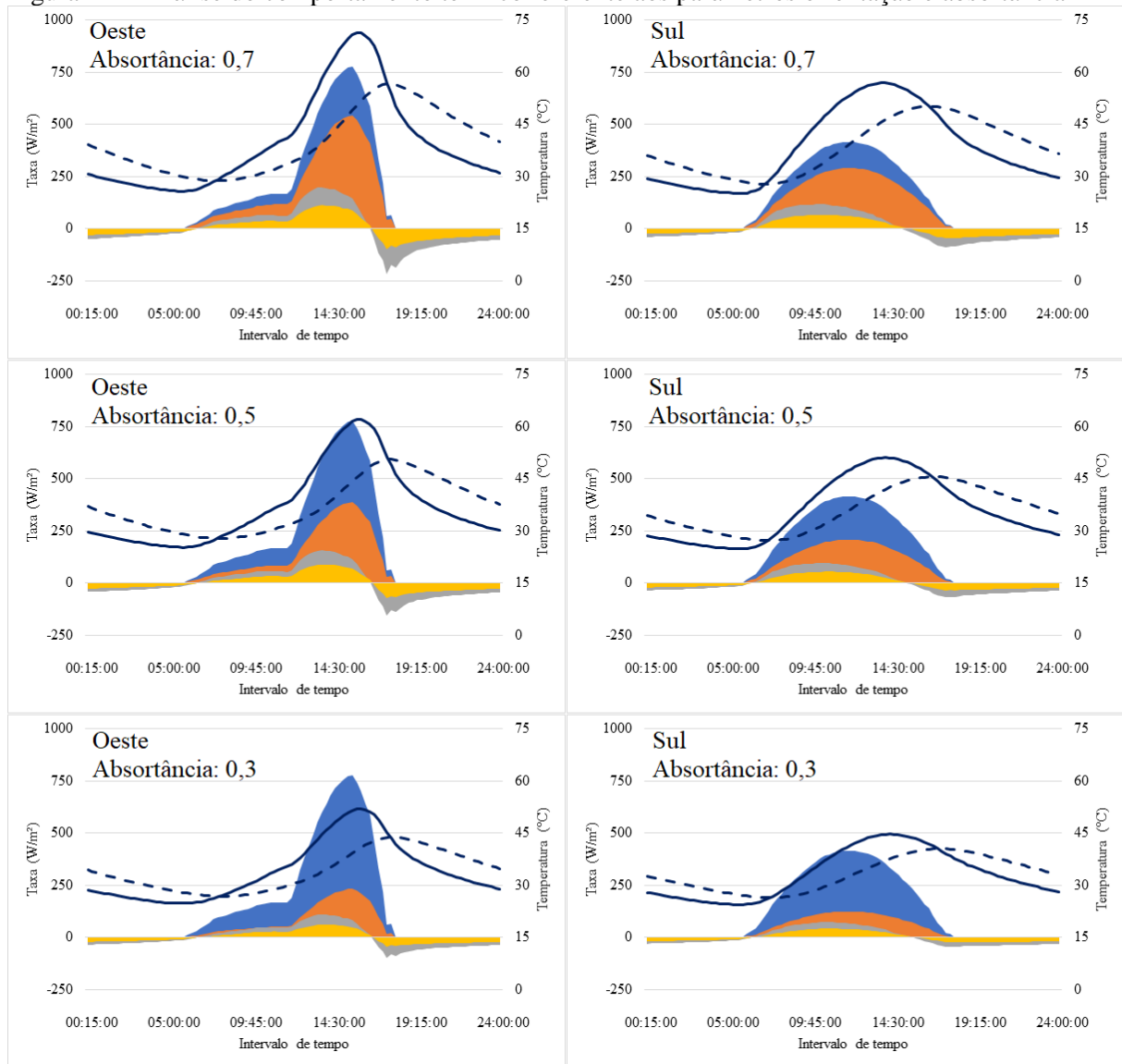
A análise referente aos parâmetros orientação e absorvância foi realizada com a Parede 1, conforme mostrado na Figura 22. A partir dos resultados das simulações foram construídos seis gráficos para a análise do comportamento térmico, variando em cada um a orientação e a absorvância (Figura 24).

De acordo com o exposto na Figura 24, nota-se que ao variar a orientação da parede, a incidência de radiação solar é alterada. No estudo realizado, a mudança de orientação adotada (oeste para sul) fez com que ocorresse uma diminuição da taxa de incidência na superfície. Sendo a radiação solar a principal responsável pelos ganhos térmicos de uma edificação, a redução de exposição a este fator repercute diretamente em seus ganhos térmicos, o que pôde ser comprovado pela redução da CgTR nas análises anteriores. Deste modo, tratando-se apenas da incidência de radiação solar, percebe-se que este fator influi significativamente na resposta térmica das paredes, sendo que quanto maior a radiação incidente na superfície, maior tende a ser o ganho térmico e a sua percepção na superfície interna, e conseqüentemente na temperatura do ambiente interno.

Em conjunto ao fator incidência de radiação solar, a resposta ao efeito da absorvância também pode ser observada na Figura 24, onde a taxa de ganho de calor por radiação solar na superfície varia consideravelmente com a mudança da absorvância. Como observado na revisão de literatura, isso se deve a esta propriedade corresponder a quantidade de energia radiante que atinge uma superfície e que é absorvida por ela. Quanto menor o valor da absorvância, menor é

a quantidade de energia absorvida pela superfície, o que resulta na redução da temperatura da superfície externa e, por conseguinte, uma menor quantidade de calor armazenado e transferido para a face interna da parede.

Figura 24 – Análise do comportamento térmico referente aos parâmetros orientação e absorptância



- Taxa de radiação incidente na superfície externa por área (W/m^2).
- Taxa de ganho de calor por radiação solar na superfície externa por área (W/m^2).
- Taxa de armazenamento de calor na superfície por área (W/m^2).
- Taxa média de transferência de calor por condução na superfície, por área (W/m^2).
- Temperatura da superfície externa ($^{\circ}C$).
- - Temperatura da superfície interna ($^{\circ}C$).

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2 Espessura dos materiais

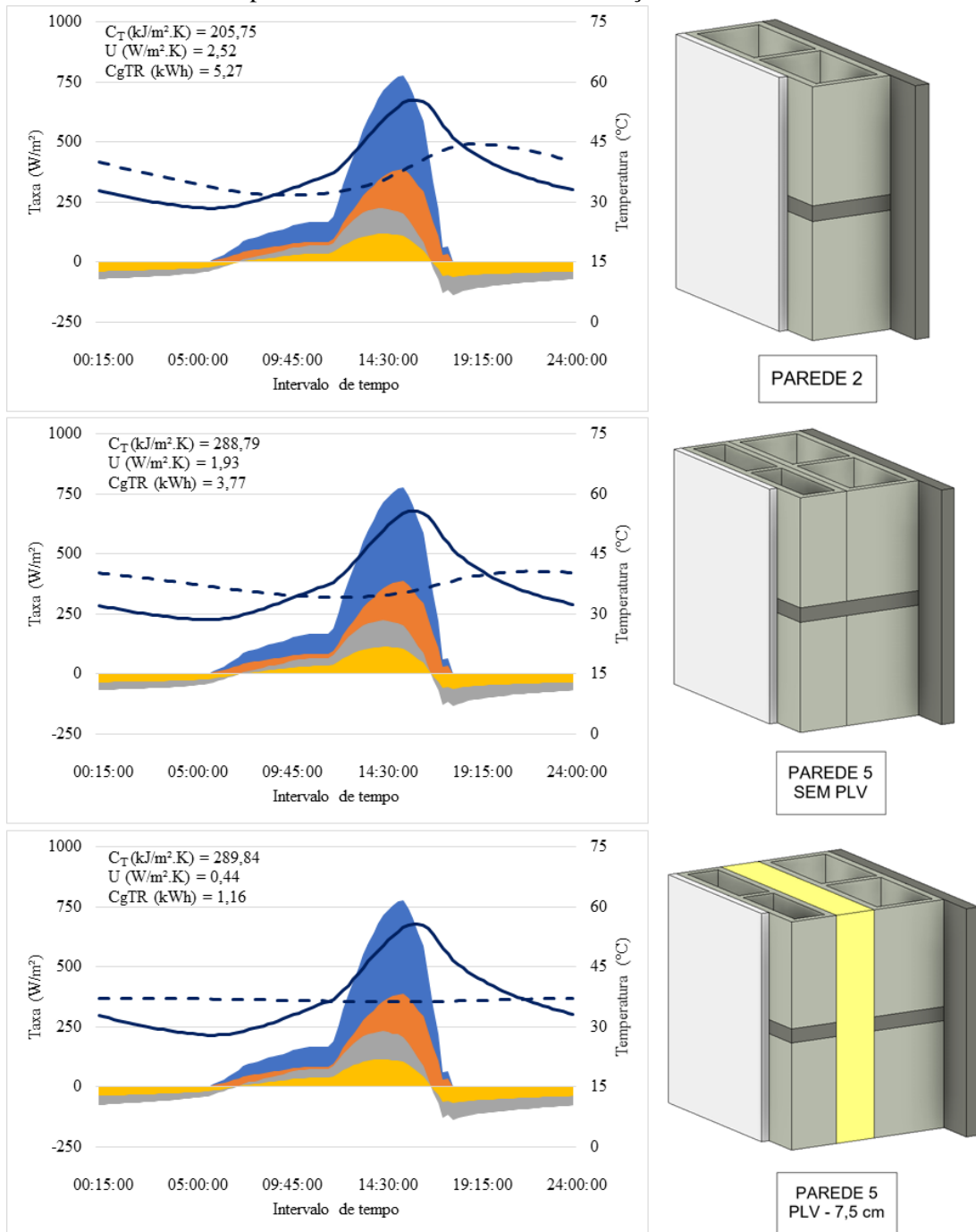
Como o comportamento relacionado aos materiais foi similar para todas as paredes, o estudo de caso realizado busca analisar a resposta térmica das paredes frente a inclusão dos materiais que apresentaram resultados significativos, para isso foram escolhidas paredes com as mesmas características (tipo de bloco, materiais constituintes e suas espessuras), sendo elas: Parede 2; Parede 5 sem o material PLV; e a Parede 5 com PLV na espessura de 7,50 cm. Além da análise referente ao comportamento do material, a escolha dessas paredes para o estudo de caso objetivou apresentar uma constatação relacionada às propriedades capacidade térmica (C_T) e transmitância (U) observada no presente trabalho e durante a revisão de literatura.

As três paredes foram submetidas à mesma orientação (oeste) e absorvância (0,5), no entanto apresentaram comportamentos diferentes, como pode ser observado na Figura 25. Nota-se que com a mudança das paredes, a variação da temperatura superficial interna (T_{si}) torna-se menos perceptível, onde ao incluir o material PLV praticamente não se nota variação. Atribui-se a este comportamento a variação da transmitância das paredes, a qual corresponde ao fluxo de calor que atravessa a superfície para uma dada diferença de temperatura. A Parede 2 possui o maior valor de transmitância e, conseqüentemente, apresenta um aumento na T_{si} mais rapidamente. Já a Parede 5 sem PLV possui uma transmitância menor, fazendo com que a T_{si} leve mais tempo para ser elevada devido à redução do fluxo de calor.

O mesmo comportamento é observado para a Parede 5 com PLV em espessura 7,50 cm. Pelo fato de o PLV ser um material isolante, isto é, de baixa condutividade térmica, ele reduz consideravelmente a transmitância da superfície, chegando a uma situação como a observada nesta parede, onde a T_{si} praticamente não é alterada. Com a tamanha redução da transmitância, o tempo para que o calor chegue à superfície interna é tanto, que a superfície externa adquire menor temperatura e o sentido do fluxo de calor passa a tomar sua direção. Deste modo, a T_{si} não chega a ser elevada, e por consequência, o ar do ambiente também não, o que resulta em uma baixa C_{gTR} .

Desta forma, atribui-se o mesmo comportamento para as paredes que eram compostas com materiais isolantes (EPS e PLV), as quais resultaram nas menores C_{gTR} observadas. Além disso, para o modelo de ambiente e clima simulados, os valores de C_{gTR} tendem a tomar valores cada vez mais próximos quanto menor forem os valores de transmitância da parede, em virtude da ausência de geração de calor interno e o isolamento do ambiente externo promovido por esta.

Figura 25 – Análise do comportamento térmico referente a inserção de um material isolante



- Taxa de radiação incidente na superfície externa por área (W/m²).
- Taxa de ganho de calor por radiação solar na superfície externa por área (W/m²).
- Taxa de armazenamento de calor na superfície por área (W/m²).
- Taxa média de transferência de calor por condução na superfície, por área (W/m²).
- Temperatura da superfície externa (°C).
- - Temperatura da superfície interna (°C).

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.3 Análise de capacidade térmica e transmitância térmica

Outra constatação que pôde ser observada refere-se as propriedades capacidade térmica e transmitância térmica. Como pôde ser observado pela Figura 25, a variação da C_T foi relativamente pequena, no entanto os resultados referentes a C_{gTR} e ao comportamento da T_{si} mostraram-se consideravelmente diferentes, fazendo uma relação mais perceptível com as variações de U , o que corrobora com a análise observada no item 4, onde somente a transmitância térmica demonstra uma relação direta com a C_{gTR} para o modelo de simulação e clima utilizados.

Baseando-se nessa consideração, foram realizadas duas ANOVA's relacionando os resultados das simulações paramétricas de todas as paredes, uma para a capacidade térmica e outra para a transmitância, com resultados conforme a Tabela 13, onde ambos os resultados demonstraram que estas propriedades apresentaram influência significativa na carga térmica de resfriamento.

Tabela 13 - Resultado da ANOVA para transmitância térmica e capacidade térmica

Parede	Fonte	GL ^a	SQ ^b	QM ^c	F ^d	p ^e
Todas	U (W/m ² .K)	83	891,3	10,7387	25,2	< 0,001
	Erro	420	179	0,4261		
	Total	503	1070,3			
	C_T (kJ/m ² .K)	83	891,3	10,7387	25,2	< 0,001
	Erro	420	179	0,4261		
	Total	503	1070,3			

a: Graus de Liberdade; b: Soma dos quadrados; c: Quadrados médios; d: Fisher; e: Probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a ANOVA, foi realizado o teste de Tukey para ambas as propriedades térmicas, objetivando identificar em quais grupos estavam as diferenças de médias para que fosse possível afirmar as constatações feitas, conforme pode ser visto na Tabela 15 e Tabela 16 presentes no APÊNDICE . Nota-se exatamente o comportamento mencionado anteriormente, onde a transmitância térmica mostrou ser um parâmetro diretamente proporcional à carga térmica de resfriamento para o modelo de simulação e clima avaliados. Ao analisar a tabela referente as comparações de capacidade térmica, não se consegue estabelecer relações entre estas variáveis, o que não quer dizer que não existam, porém, para o modelo de simulações utilizado e para o clima avaliado, não foi possível determiná-las.

Alguns autores relatam que paredes com altos valores de C_T apontam para um melhor desempenho térmico para regiões de climas quentes, já outros autores indicam que esta

propriedade não pode ser considerada em sua totalidade como responsável pelo desempenho, devendo ser considerada a análise de outros fatores, o que pôde provar-se coerente, uma vez que puderam ser observados valores bastante próximos desta propriedade com desempenho médio referente a carga térmica de resfriamento consideravelmente diferentes.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar, através da simulação computacional, o desempenho térmico, e a influência da variação dos parâmetros orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais, em paredes submetidas às condições climáticas do município de Barreiras-Ba, baseando-se nas cargas térmicas de um modelo de simulações que possibilitasse a avaliação somente deste elemento. Nesta perspectiva, foram selecionadas e analisadas, seis diferentes composições de paredes previamente avaliadas em outro estudo realizado no mesmo município. As principais conclusões do presente estudo são apresentadas a seguir.

Análise do desempenho térmico com base nas cargas térmicas

Com relação às diferentes composições de paredes analisadas as principais conclusões obtidas foram:

- As duas paredes comumente utilizadas no município, apesar de atenderem a norma de desempenho NBR 15575-4, apresentaram os maiores valores de carga térmica, resultando nos piores desempenhos dentre todas as seis paredes analisadas;
- As paredes que atendiam às diretrizes construtivas da NBR 15220-3: 2005 para a zona bioclimática do município, apresentaram uma CgTR consideravelmente menor em relação às paredes que só atendiam os critérios da NBR 15575-4: 2013;
- As paredes que possuíam materiais isolantes em sua composição (EPS e painel semirrígido de lã de vidro) obtiveram as menores cargas térmicas registradas, resultando nos melhores desempenhos;
- Dentre as paredes analisadas, a Parede 3 apresentou uma das menores CgTR, com uma composição bastante similar à Parede 1 (comumente utilizada no município) e um desempenho relativo à CgTR consideravelmente melhor, levando a ser uma opção fortemente considerável em relação a utilizações práticas;
- O desempenho térmico medido pela CgTR mostrou, no modelo de simulações utilizado e clima adotado, estar diretamente relacionado à transmitância térmica, sendo que os menores valores de transmitância resultaram em menores cargas térmicas e, conseqüentemente, num melhor desempenho térmico;

- Não foi possível associar o resultado da CgTR com a variação da capacidade térmica das paredes, apesar desta propriedade apresentar influência significativa na CgTR pela análise de variância.

Análise da influência dos parâmetros: orientação solar, absorvância térmica e espessura dos materiais, nas cargas térmicas

Com relação às diferentes variações realizadas nos parâmetros determinados, as principais conclusões obtidas foram:

Orientação solar e absorvância térmica:

- A mudança de orientação solar de oeste para sul apresentou influência significativa na CgTR de quase todas as paredes analisadas, indicando uma redução média na CgTR devido a essa variação entre 8,81% e 9,73%;
- O parâmetro absorvância térmica apresentou influência significativa na CgTR de todas as paredes analisadas, sendo observadas médias significativamente diferentes para cada valor adotado, com exceção das paredes 3 e 6 onde as variações de 0,7 para 0,5 não mostraram diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey;
- A variação do parâmetro absorvância térmica resultou em uma diminuição mais considerável na CgTR do que a mudança de orientação solar, podendo chegar no modelo de simulação e clima utilizados, a uma redução na CgTR quatro vezes maior do que a mudança de orientação de oeste para sul.

Espessura dos materiais:

- Em todos os materiais utilizados nas composições das paredes se observou uma redução na média da CgTR conforme o aumento de espessura, no entanto apenas os materiais isolantes (EPS e PLV) apresentaram influência significativa na CgTR;
- A variação de espessura dos materiais argamassa e gesso não apresentou influência significativa na CgTR em nenhuma das paredes analisadas, com variações nas médias pouco consideráveis, sendo que, a variação de espessura do gesso apresentou

um percentual de redução na CgTR média maior que o observado na variação de espessura da argamassa;

- Os materiais EPS e painel semirrígido de lã de vidro (PLV) apresentaram influência significativa na CgTR em todas as paredes que foi utilizado, obtendo médias de CgTR significativamente diferentes para cada variação de espessura utilizada;
- A variação de espessura do EPS de 0,50 cm para 3,00 cm resultou em um percentual de redução máximo na CgTR de 49,50% no caso da parede 3;
- A variação de espessura do PLV de 2,50 cm para 7,50 cm resultou em um percentual de redução máximo na CgTR de 48,16% no caso da parede 5;
- Apesar do PLV resultar nas menores CgTR observadas, o EPS demonstrou um resultado bastante interessante ao considerar que sua espessura máxima adotada foi 60% menor do que a espessura máxima do PLV, sendo o melhor resultado médio de CgTR referente ao EPS, apenas 52% maior do que o melhor resultado obtido pelas médias do PLV.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados deste trabalho e nos estudos que podem complementar as constatações aqui realizadas, sugere-se as seguintes pesquisas:

- Analisar a influência da adoção dos parâmetros significativos identificados no presente trabalho em uma edificação completa, também localizada no município de Barreiras-Ba;
- Analisar o efeito da ventilação natural no modelo utilizado para verificar a influência de retirada de calor do ambiente;
- Analisar a influência nas cargas térmicas devido a inserção de janelas utilizando o mesmo modelo de simulações;
- Comparar as cargas térmicas de uma edificação que utilize paredes com baixa transmitância, com edificações que utilizem paredes com alta capacidade térmica, no município de Barreiras-Ba;
- Simular uma edificação completa que permita trocas de calor com outros ambientes, e analisar as cargas térmicas de um único ambiente com mesmas dimensões e que adote uma mesma composição de parede, e os mesmos valores de parâmetros analisados no presente trabalho, de modo a verificar a equivalência dos resultados para um modelo mais realista.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: p. 60, 2013.
- _____. **NBR 15575-4 Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro: p. 51, 2013.
- _____. **NBR 15220-1. Desempenho Térmico de Edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: p. 8. 2005.
- _____. **NBR 15220-3. Desempenho Térmico de Edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: p. 8. 2005.
- ALMEIDA, L. S. S. **Influência de Parâmetros Físicos e geométricos no Desempenho Termoenergético de Habitações Unifamiliares**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- ANSI/ASHRAE. ANSI/ASHRAE 55:2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Ashrae*, v. 2004, p. 30, 2004.
- ARAÚJO, H. F. DE. **Desempenho térmico de paredes: uma análise de parâmetros térmicos, custos/m² e custo-benefício no município de Barreiras-BA**. Barreiras: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2018.
- ASHRAE. **ASHRAE Handbook of Fundamentals**. I-P ed. Atlanta: ASHRAE Research, 2017.
- BALTAR, M. G. **Redução da Demanda de Energia Elétrica utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico**. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2006.
- BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. *Ambiente Construído*, v. 2, n. 1, p. 15–28, 2001.
- BOGO, A. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.
- CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 119–134, 2014.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DA SILVA, N. L. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/PB**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2015.

DE FREITAS, J. G. A influência das condições climáticas na durabilidade dos revestimentos de fachada: estudo de caso na cidade de Goiânia-GO. 2012.

DIAS, A. E. **O desempenho térmico de uma coberturas verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139–154, 2010.

DOE, U. S. Input Output Reference. **The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**, n. c, p. 1996–2016, 2021.

DORNELLES, K. A. **Estudo de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002.

FERNANDES, A. M. C. P. **Arquitetura e sombreamento: parâmetros para a região climática de Goiânia**. Goiânia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GOIS, P. DE F. **Estudo da influência do sistema de revestimento no desempenho térmico, acústico e lumínico de edifícios**. Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2020.

GONÇALVES, J. C. S.; MOURA, N. C. DA S.; KUNIOCHI, E. M. U. Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico. In: **Edifício Ambiental**. 1.

ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015. v. 110p. 297–312.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras. p. 1–345, 1998.

INMETRO. RTQ-R - Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais. v. 1, p. 136, 2012.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Simulação computacional do desempenho termo-energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010a. v. 4

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010b. v. 1

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: PROCEL, 2014.

MARQUES, T. H. T. **Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2013.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. A review of the Brazilian NBR 15575 Standard: Applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance. **Simulation Series**, v. 45, n. 8, p. 94–101, 2013.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **O método do balanço térmico através de simulação computacional no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2008.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47–68, 2005.

MENDONÇA, M. et al. Análise da influência do sistema de vedação vertical externa no consumo energético de um edifício residencial localizado na zona bioclimática 08. **XV Encac**, n. 1, p. 2120–2128, 2019.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de passo fundo – RS**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios**. Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

NEUMANN, V. DE A.; SCHNEIDER, P. S. Metodologias simplificadas de avaliação do desempenho energético de edificações. **Thema : Revista Científica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas**, v. 3, n. 1, p. 37–42, 2000.

OLGYAY, V. **Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. Simulações para o projeto da Casa Eficiente. In: **Casa Eficiente: Simulação computacional para o desempenho termo-energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 17–26.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica: Relatório de resultados PROCEL, ano base: 2020. 2021.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2001.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bioclimatic Zoning of Brazil : a Proposal Based on the Givoni and Mahoney Methods. **Design**, n. 1976, p. 4–9, 1998.

RORIZ, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, 2012.

SILVA, A. C. **Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

SIQUEIRA, T. C. P. A. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações Engenharia Civil. v. 58, n. 2, p. 133–138, 2005.

SOUSA, F. P. DE; SILVA, A. S. **Manual de introdução à simulação do desempenho de edifícios: um curso para iniciantes no software EnergyPlus**. 1. ed. Campo Grande: Ed. do Autor, 2021.

SUZUKI, E. H. **Avaliação do conforto térmico e do nível de CO₂ em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

WEBER, F. DA S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017.

YOSHIDA, R. **Das normas em conforto térmico ao projecto de arquitectura: Estudo de Casos para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 - Brasil**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2006.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Brasília: Universidade de Brasília, 2015.

ANEXO A

CLASSES UTILIZADAS NO PROGRAMA ENERGYPLUS

Figura 26 - Classe Building

Field	Units	Obj1
Name		Ambiente 01
North Axis	deg	0
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value	w	0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteri
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		6

Fonte: EnergyPlus

Figura 27 - Classe Site:Location

Field	Units	Obj1
Name		Barreiras_BA_BRA Design_Conditions
Latitude	deg	-12.15
Longitude	deg	-45
Time Zone	hr	-3
Elevation	m	471.9

Fonte: EnergyPlus

Figura 28 - Classe RunPeriod

Field	Units	Obj1
Name		Periodo
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
Begin Year		2020
End Month		1
End Day of Month		1
End Year		2020
Day of Week for Start Day		
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		No
Treat Weather as Actual		No

Fonte: EnergyPlus

Figura 29 - Classe BuildingSurface:Detailed

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Piso	Face oeste
Surface Type		Floor	Wall
Construction Name		Interior Floor	Tipo 1
Zone Name		Ambiente 01	Ambiente 01
Outside Boundary Condition		Adiabatic	Adiabatic
Outside Boundary Condition Object			
Sun Exposure		NoSun	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed
View Factor to Ground		0	
Number of Vertices		4	4

Fonte: EnergyPlus.

Figura 30 - Classe HVACTemplate:Thermostat

Field	Units	Obj1
Name		Constant Setpoint T
Heating Setpoint Schedule Name		
Constant Heating Setpoint	C	24
Cooling Setpoint Schedule Name		
Constant Cooling Setpoint	C	26

Fonte: EnergyPlus

Figura 31 - Classe HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem

Field	Units	Obj1
Zone Name		Ambiente 01
Template Thermostat Name		Constant Setpoint T
System Availability Schedule Name		
Maximum Heating Supply Air Temperature	C	50
Minimum Cooling Supply Air Temperature	C	13
Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0156
Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0,0077
Heating Limit		NoLimit
Maximum Heating Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Sensible Heating Capacity	W	
Cooling Limit		NoLimit
Maximum Cooling Air Flow Rate	m3/s	
Maximum Total Cooling Capacity	W	
Heating Availability Schedule Name		
Cooling Availability Schedule Name		
Dehumidification Control Type		ConstantSensibleHe
Cooling Sensible Heat Ratio	dimensionless	0,7

Fonte: EnergyPlus

Figura 32 - Classe Output:Variable

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Site Outdoor Air Dry	Zone Air Temperatu
Reporting Frequency		Timestep	Timestep
Schedule Name			

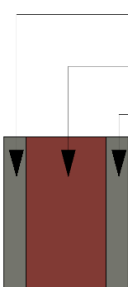
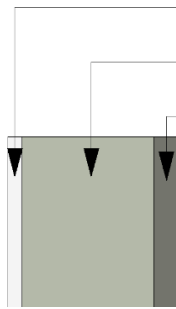
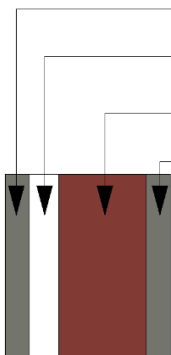
Fonte: EnergyPlus.

ANEXO B

COMPOSIÇÕES DOS TIPOS DE PAREDES

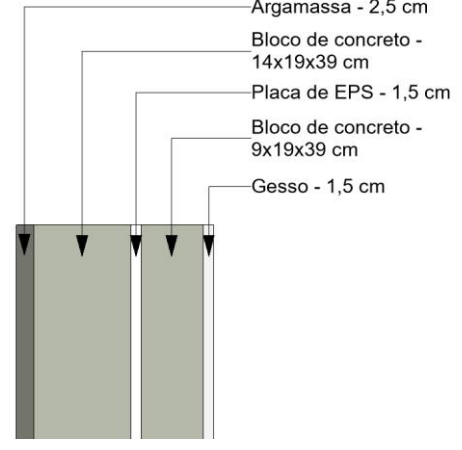
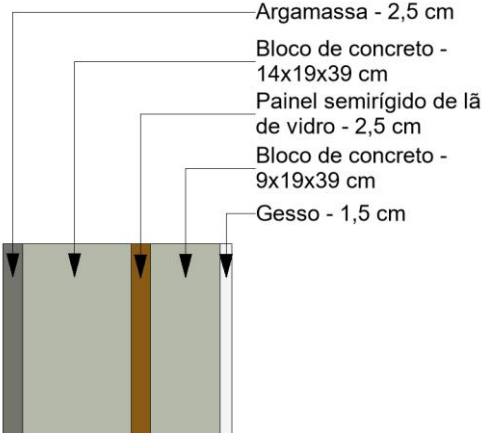
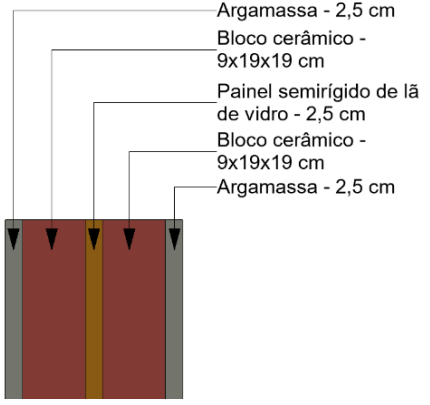
Quadro 6 - Composição dos tipos de paredes e descrição ilustrativa

(continua)

Composição da parede	Descrição ilustrativa
<p>Parede 1 (Solução comum 1):</p> <p>Parede composta por alvenaria de vedação de bloco cerâmico, dimensão 9x19x19 cm, com furos na horizontal, assentados na vertical com juntas de argamassa de espessura 10mm. Os revestimentos internos e externos executados com chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm).</p>	 <p>Argamassa - 2,5 cm Bloco cerâmico - 9x19x19 cm Argamassa - 2,5 cm</p>
<p>Tipo 2 (Solução comum 2):</p> <p>Parede composta por alvenaria estrutural de blocos de concreto de dimensão 14x19x39 cm, com furos na vertical, assentados com juntas de argamassa de espessura 10 mm. O Revestimento externo executado com chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm) e o revestimento interno executado com gesso (espessura de 15 mm).</p>	 <p>Gesso - 1,5 cm Bloco de concreto - 14x19x39 cm Argamassa - 2,5 cm</p>
<p>Tipo 3 (Proposta 5):</p> <p>Parede composta por alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de dimensão 9x19x19 cm, com furos na horizontal, assentados na vertical com juntas de argamassa de espessura 10mm. O Revestimento interno é executado com chapisco (espessura de 5mm) e massa única (espessura de 20 mm). O revestimento externo composto por: placa de EPS (e=30 mm), colada com aditivo/adesivo e fixada com tela de aço galvanizado e pinos de aço; chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm).</p>	 <p>Argamassa - 2,5 cm Placa de EPS - 3 cm Bloco cerâmico - 9x19x19 cm Argamassa - 2,5 cm</p>

Quadro 6 - Composição dos tipos de paredes e descrição ilustrativa

(conclusão)

Tipo de parede	Descrição ilustrativa
<p>Tipo 4 (Proposta 21):</p> <p>Parede composta por alvenaria dupla, sendo uma alvenaria de blocos estruturais de concreto de dimensão 14x19x39 cm com furos na vertical e uma alvenaria com bloco de vedação de concreto de dimensão 9x19x39 cm com furos na vertical; possuindo uma câmara de ar de 15 mm entre as duas paredes, preenchida com placa de poliestireno expandido F3, dimensão 1000x1000x15 mm. O assentamento executado com juntas de argamassa de espessura 10 mm. O Revestimento externo executado com chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm) e o revestimento interno executado com gesso (espessura de 15 mm).</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Argamassa - 2,5 cm Bloco de concreto - 14x19x39 cm Placa de EPS - 1,5 cm Bloco de concreto - 9x19x39 cm Gesso - 1,5 cm
<p>Tipo 5 (Proposta 23):</p> <p>Parede composta por alvenaria dupla, sendo uma alvenaria estrutural de blocos estruturais de concreto com furos na vertical e dimensão 14x19x39 cm e uma alvenaria com bloco de vedação de concreto com furos na vertical e dimensão 9x19x39 cm; possuindo uma câmara de ar de 25 mm entre as duas paredes, preenchida com painel semi-rígido de lã de vidro (PSI-20), dimensão 1200x600x25 mm. O assentamento executado com juntas de argamassa de espessura 10 mm. O Revestimento externo executado com chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm) e o revestimento interno executado com gesso (espessura de 15 mm).</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Argamassa - 2,5 cm Bloco de concreto - 14x19x39 cm Painel semi-rígido de lã de vidro - 2,5 cm Bloco de concreto - 9x19x39 cm Gesso - 1,5 cm
<p>Tipo 6 (Proposta 8):</p> <p>Parede composta por alvenaria de vedação dupla de blocos cerâmicos de dimensão 9x19x19 cm, com furos na horizontal, assentados na vertical com juntas de argamassa de espessura 10 mm, possuindo câmara de ar de 25 mm entre as duas paredes, preenchida com painel semi-rígido de lã de vidro (PSI-20), dimensão 1200x600x25 mm. Os revestimentos internos e externos executados com chapisco (espessura de 5 mm) e massa única (espessura de 20 mm).</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Argamassa - 2,5 cm Bloco cerâmico - 9x19x19 cm Painel semi-rígido de lã de vidro - 2,5 cm Bloco cerâmico - 9x19x19 cm Argamassa - 2,5 cm

Fonte: Adaptado de Araújo (2018).

ANEXO C

COMPOSIÇÃO DE CAMADAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.

Quadro 7 - Espessura e propriedades dos materiais para as diferentes composições de parede

(continua)

Parede	Material	Espessura (cm)	Condutividade - λ (W/m.°C)	Densidade - ρ (kg/m ³)	Calor específico - c (kJ/kg.K)
1	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco cerâmico - 9x19x19 cm	1,30	0,900	1600	0,92
	Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
	Bloco cerâmico - 9x19x19 cm	1,30	0,900	1600	0,92
	Argamassa interna	2,50	1,150	2000	1,00
2	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Câmara de ar	8,00	0,625	-	-
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Gesso	1,50	0,350	900	0,870
3	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Placa de EPS	3,00	0,040	14	1,42
	Argamassa interna	2,50	1,150	2000	1,00
4	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Câmara de ar	8,00	0,625	-	-
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Placa de EPS	1,50	0,040	14	1,42
	Bloco de concreto - 9x19x39 cm	1,73	1,750	2400	1
	Câmara de ar	5,54	0,434	-	-
	Bloco de concreto - 9x19x39 cm	1,73	1,750	2400	1,00
	Gesso	1,50	0,350	900	0,870

Quadro 7 - Espessura e propriedades dos materiais para os diferentes tipos de parede

(conclusão)

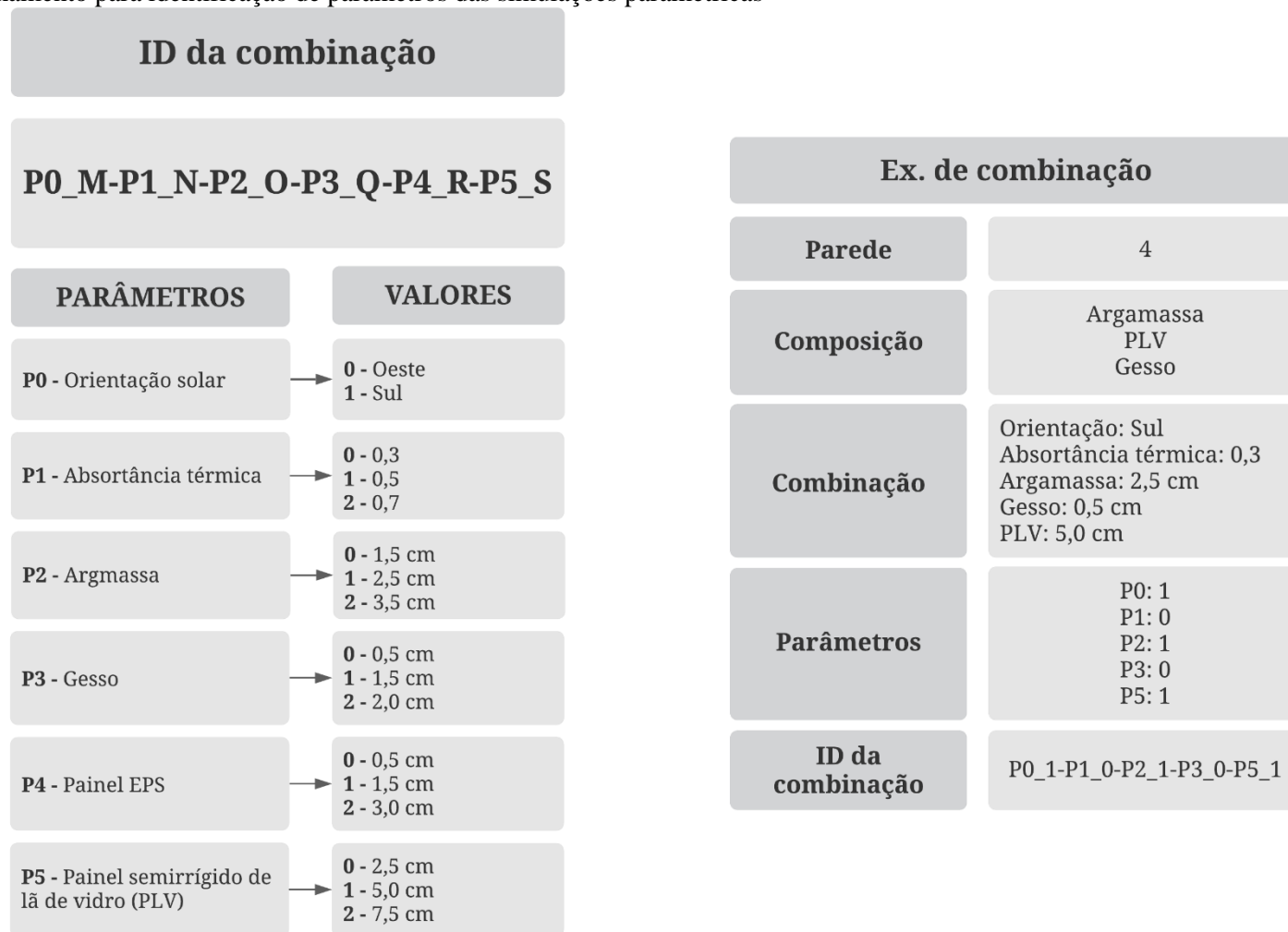
Parede	Material	Espessura (cm)	Condutividade - λ (W/m.°C)	Densidade - ρ (kg/m ³)	Calor específico - c (kJ/kg.K)
5	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Câmara de ar	8,00	0,625	-	-
	Bloco de concreto - 14x19x39 cm	3,00	1,750	2400	1,00
	Painel semi-rígido de lã de vidro	2,50	0,043	20	0,70
	Bloco de concreto - 9x19x39 cm	1,73	1,750	2400	1,00
	Câmara de ar	5,54	0,434	-	-
	Bloco de concreto - 9x19x39 cm	1,73	1,750	2400	1,00
	Gesso	1,50	0,350	900	0,870
6	Argamassa externa	2,50	1,150	2000	1,00
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Painel semi-rígido de lã de vidro	2,50	0,043	20	0,70
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Câmara de ar	6,40	0,356	-	-
	Bloco cerâmico - 9x19x19	1,30	0,900	1600	0,92
	Argamassa interna	2,50	1,150	2000	1,00

Fonte: Adaptado de Weber et. al (2017), Araújo (2018).

APÊNDICE A

DETALHAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS.

Figura 33 - Detalhamento para identificação de parâmetros das simulações paramétricas



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE B

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS.

As linhas em cinza escuro referem-se às simulações que foram realizadas com parâmetros fixos na primeira etapa.

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

						(continua)
Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
1	0	P0_0-P1_0-P2_0	4,05	0	98,272	2,469
1	1	P0_0-P1_0-P2_1	3,89	0	138,272	2,368
1	2	P0_0-P1_0-P2_2	3,77	0	178,272	2,274
1	3	P0_0-P1_1-P2_0	5,41	0	98,272	2,469
1	4	P0_0-P1_1-P2_1	5,22	0	138,272	2,368
1	5	P0_0-P1_1-P2_2	5,06	0	178,272	2,274
1	6	P0_0-P1_2-P2_0	6,71	0	98,272	2,469
1	7	P0_0-P1_2-P2_1	6,48	0	138,272	2,368
1	8	P0_0-P1_2-P2_2	6,28	0	178,272	2,274
1	9	P0_1-P1_0-P2_0	3,69	0	98,272	2,469
1	10	P0_1-P1_0-P2_1	3,54	0	138,272	2,368
1	11	P0_1-P1_0-P2_2	3,42	0	178,272	2,274
1	12	P0_1-P1_1-P2_0	4,89	0	98,272	2,469
1	13	P0_1-P1_1-P2_1	4,71	0	138,272	2,368
1	14	P0_1-P1_1-P2_2	4,56	0	178,272	2,274
1	15	P0_1-P1_2-P2_0	6,03	0	98,272	2,469
1	16	P0_1-P1_2-P2_1	5,82	0	138,272	2,368
1	17	P0_1-P1_2-P2_2	5,64	0	178,272	2,274
2	0	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0	4,47	0	177,915	2,781
2	1	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1	4,2	0	185,745	2,576
2	2	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2	4,08	0	189,660	2,485
2	3	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0	4,39	0	197,915	2,715
2	4	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1	4,13	0	205,745	2,520
2	5	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2	4,01	0	209,660	2,432
2	6	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0	4,31	0	217,915	2,652
2	7	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1	4,06	0	225,745	2,466
2	8	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2	3,95	0	229,660	2,382
2	9	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0	6,04	0	177,915	2,781
2	10	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1	5,66	0	185,745	2,576
2	11	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2	5,49	0	189,660	2,485
2	12	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0	5,93	0	197,915	2,715
2	13	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1	5,57	0	205,745	2,520
2	14	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2	5,41	0	209,660	2,432
2	15	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0	5,83	0	217,915	2,652
2	16	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1	5,48	0	225,745	2,466
2	17	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2	5,33	0	229,660	2,382
2	18	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0	7,54	0	177,915	2,781
2	19	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1	7,06	0	185,745	2,576
2	20	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2	6,85	0	189,660	2,485
2	21	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0	7,41	0	197,915	2,715
2	22	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1	6,95	0	205,745	2,520
2	23	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2	6,75	0	209,660	2,432

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
2	24	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0	7,29	0	217,915	2,652
2	25	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1	6,85	0	225,745	2,466
2	26	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2	6,65	0	229,660	2,382
2	27	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0	4,03	0	177,915	2,781
2	28	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1	3,79	0	185,745	2,576
2	29	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2	3,68	0	189,660	2,485
2	30	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0	3,96	0	197,915	2,715
2	31	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1	3,73	0	205,745	2,520
2	32	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2	3,62	0	209,660	2,432
2	33	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0	3,88	0	217,915	2,652
2	34	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1	3,66	0	225,745	2,466
2	35	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2	3,56	0	229,660	2,382
2	36	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0	5,42	0	177,915	2,781
2	37	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1	5,09	0	185,745	2,576
2	38	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2	4,94	0	189,660	2,485
2	39	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0	5,32	0	197,915	2,715
2	40	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1	5	0	205,745	2,520
2	41	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2	4,86	0	209,660	2,432
2	42	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0	5,23	0	217,915	2,652
2	43	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1	4,92	0	225,745	2,466
2	44	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2	4,78	0	229,660	2,382
2	45	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0	6,74	0	177,915	2,781
2	46	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1	6,32	0	185,745	2,576
2	47	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2	6,13	0	189,660	2,485
2	48	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0	6,62	0	197,915	2,715
2	49	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1	6,21	0	205,745	2,520
2	50	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2	6,03	0	209,660	2,432
2	51	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0	6,5	0	217,915	2,652
2	52	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1	6,11	0	225,745	2,466
2	53	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2	5,94	0	229,660	2,382
3	0	P0_0-P1_0-P2_0-P4_0	3,22	0	98,371	1,887
3	1	P0_0-P1_0-P2_0-P4_1	2,29	0	98,570	1,282
3	2	P0_0-P1_0-P2_0-P4_2	1,61	0	98,868	0,866
3	3	P0_0-P1_0-P2_1-P4_0	3,13	0	138,371	1,827
3	4	P0_0-P1_0-P2_1-P4_1	2,25	0	138,570	1,254
3	5	P0_0-P1_0-P2_1-P4_2	1,6	0	138,868	0,853
3	6	P0_0-P1_0-P2_2-P4_0	3,05	0	178,371	1,771
3	7	P0_0-P1_0-P2_2-P4_1	2,22	0	178,570	1,227
3	8	P0_0-P1_0-P2_2-P4_2	1,58	0	178,868	0,841
3	9	P0_0-P1_1-P2_0-P4_0	4,27	0	98,371	1,887
3	10	P0_0-P1_1-P2_0-P4_1	3,02	0	98,570	1,282
3	11	P0_0-P1_1-P2_0-P4_2	2,11	0	98,868	0,866
3	12	P0_0-P1_1-P2_1-P4_0	4,16	0	138,371	1,827
3	13	P0_0-P1_1-P2_1-P4_1	2,98	0	138,570	1,254
3	14	P0_0-P1_1-P2_1-P4_2	2,1	0	138,868	0,853
3	15	P0_0-P1_1-P2_2-P4_0	4,07	0	178,371	1,771
3	16	P0_0-P1_1-P2_2-P4_1	2,94	0	178,570	1,227
3	17	P0_0-P1_1-P2_2-P4_2	2,09	0	178,868	0,841
3	18	P0_0-P1_2-P2_0-P4_0	5,27	0	98,371	1,887
3	19	P0_0-P1_2-P2_0-P4_1	3,71	0	98,570	1,282

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
3	20	P0_0-P1_2-P2_0-P4_2	2,58	0	98,868	0,866
3	21	P0_0-P1_2-P2_1-P4_0	5,15	0	138,371	1,827
3	22	P0_0-P1_2-P2_1-P4_1	3,66	0	138,570	1,254
3	23	P0_0-P1_2-P2_1-P4_2	2,57	0	138,868	0,853
3	24	P0_0-P1_2-P2_2-P4_0	5,03	0	178,371	1,771
3	25	P0_0-P1_2-P2_2-P4_1	3,62	0	178,570	1,227
3	26	P0_0-P1_2-P2_2-P4_2	2,56	0	178,868	0,841
3	27	P0_1-P1_0-P2_0-P4_0	2,95	0	98,371	1,887
3	28	P0_1-P1_0-P2_0-P4_1	2,11	0	98,570	1,282
3	29	P0_1-P1_0-P2_0-P4_2	1,49	0	98,868	0,866
3	30	P0_1-P1_0-P2_1-P4_0	2,86	0	138,371	1,827
3	31	P0_1-P1_0-P2_1-P4_1	2,07	0	138,570	1,254
3	32	P0_1-P1_0-P2_1-P4_2	1,47	0	138,868	0,853
3	33	P0_1-P1_0-P2_2-P4_0	2,78	0	178,371	1,771
3	34	P0_1-P1_0-P2_2-P4_1	2,04	0	178,570	1,227
3	35	P0_1-P1_0-P2_2-P4_2	1,46	0	178,868	0,841
3	36	P0_1-P1_1-P2_0-P4_0	3,88	0	98,371	1,887
3	37	P0_1-P1_1-P2_0-P4_1	2,76	0	98,570	1,282
3	38	P0_1-P1_1-P2_0-P4_2	1,93	0	98,868	0,866
3	39	P0_1-P1_1-P2_1-P4_0	3,78	0	138,371	1,827
3	40	P0_1-P1_1-P2_1-P4_1	2,71	0	138,570	1,254
3	41	P0_1-P1_1-P2_1-P4_2	1,92	0	138,868	0,853
3	42	P0_1-P1_1-P2_2-P4_0	3,69	0	178,371	1,771
3	43	P0_1-P1_1-P2_2-P4_1	2,68	0	178,570	1,227
3	44	P0_1-P1_1-P2_2-P4_2	1,9	0	178,868	0,841
3	45	P0_1-P1_2-P2_0-P4_0	4,76	0	98,371	1,887
3	46	P0_1-P1_2-P2_0-P4_1	3,36	0	98,570	1,282
3	47	P0_1-P1_2-P2_0-P4_2	2,35	0	98,868	0,866
3	48	P0_1-P1_2-P2_1-P4_0	4,64	0	138,371	1,827
3	49	P0_1-P1_2-P2_1-P4_1	3,32	0	138,570	1,254
3	50	P0_1-P1_2-P2_1-P4_2	2,33	0	138,868	0,853
3	51	P0_1-P1_2-P2_2-P4_0	4,54	0	178,371	1,771
3	52	P0_1-P1_2-P2_2-P4_1	3,27	0	178,570	1,227
3	53	P0_1-P1_2-P2_2-P4_2	2,32	0	178,868	0,841
4	0	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P4_0	2,79	0	261,054	1,581
4	1	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P4_1	2,09	0	261,253	1,133
4	2	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P4_2	1,52	0	261,551	0,795
4	3	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P4_0	2,68	0	268,884	1,513
4	4	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P4_1	2,03	0	269,083	1,098
4	5	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P4_2	1,49	0	269,381	0,778
4	6	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P4_0	2,64	0	272,799	1,481
4	7	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P4_1	2	0	272,998	1,081
4	8	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P4_2	1,48	0	273,296	0,769
4	9	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P4_0	2,76	0	281,054	1,560
4	10	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P4_1	2,08	0	281,253	1,122
4	11	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P4_2	1,52	0	281,551	0,790
4	12	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P4_0	2,66	0	288,884	1,493
4	13	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P4_1	2,02	0	289,083	1,087
4	14	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P4_2	1,49	0	289,381	0,772
4	15	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P4_0	2,61	0	292,799	1,462

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
4	16	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P4_1	1,99	0	292,998	1,071
4	17	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P4_2	1,47	0	293,296	0,764
4	18	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P4_0	2,74	0	301,054	1,539
4	19	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P4_1	2,06	0	301,253	1,111
4	20	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P4_2	1,51	0	301,551	0,784
4	21	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P4_0	2,64	0	308,884	1,474
4	22	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P4_1	2,01	0	309,083	1,077
4	23	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P4_2	1,48	0	309,381	0,767
4	24	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P4_0	2,59	0	312,799	1,444
4	25	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P4_1	1,98	0	312,998	1,061
4	26	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P4_2	1,47	0	313,296	0,759
4	27	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P4_0	3,73	0	261,054	1,581
4	28	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P4_1	2,78	0	261,253	1,133
4	29	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P4_2	2,02	0	261,551	0,795
4	30	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P4_0	3,59	0	268,884	1,513
4	31	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P4_1	2,7	0	269,083	1,098
4	32	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P4_2	1,98	0	269,381	0,778
4	33	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P4_0	3,52	0	272,799	1,481
4	34	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P4_1	2,66	0	272,998	1,081
4	35	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P4_2	1,96	0	273,296	0,769
4	36	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P4_0	3,7	0	281,054	1,560
4	37	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P4_1	2,77	0	281,253	1,122
4	38	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P4_2	2,01	0	281,551	0,790
4	39	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P4_0	3,56	0	288,884	1,493
4	40	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P4_1	2,69	0	289,083	1,087
4	41	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P4_2	1,97	0	289,381	0,772
4	42	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P4_0	3,49	0	292,799	1,462
4	43	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P4_1	2,65	0	292,998	1,071
4	44	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P4_2	1,95	0	293,296	0,764
4	45	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P4_0	3,66	0	301,054	1,539
4	46	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P4_1	2,75	0	301,253	1,111
4	47	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P4_2	2,01	0	301,551	0,784
4	48	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P4_0	3,53	0	308,884	1,474
4	49	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P4_1	2,68	0	309,083	1,077
4	50	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P4_2	1,97	0	309,381	0,767
4	51	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P4_0	3,46	0	312,799	1,444
4	52	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P4_1	2,64	0	312,998	1,061
4	53	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P4_2	1,95	0	313,296	0,759
4	54	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P4_0	4,62	0	261,054	1,581
4	55	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P4_1	3,43	0	261,253	1,133
4	56	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P4_2	2,48	0	261,551	0,795
4	57	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P4_0	4,44	0	268,884	1,513
4	58	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P4_1	3,33	0	269,083	1,098
4	59	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P4_2	2,43	0	269,381	0,778
4	60	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P4_0	4,36	0	272,799	1,481
4	61	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P4_1	3,28	0	272,998	1,081
4	62	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P4_2	2,41	0	273,296	0,769
4	63	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P4_0	4,58	0	281,054	1,560
4	64	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P4_1	3,42	0	281,253	1,122
4	65	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P4_2	2,48	0	281,551	0,790

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
4	66	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P4_0	4,41	0	288,884	1,493
4	67	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P4_1	3,32	0	289,083	1,087
4	68	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P4_2	2,43	0	289,381	0,772
4	69	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P4_0	4,33	0	292,799	1,462
4	70	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P4_1	3,27	0	292,998	1,071
4	71	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P4_2	2,41	0	293,296	0,764
4	72	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P4_0	4,55	0	301,054	1,539
4	73	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P4_1	3,4	0	301,253	1,111
4	74	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P4_2	2,48	0	301,551	0,784
4	75	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P4_0	4,38	0	308,884	1,474
4	76	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P4_1	3,31	0	309,083	1,077
4	77	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P4_2	2,43	0	309,381	0,767
4	78	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P4_0	4,3	0	312,799	1,444
4	79	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P4_1	3,26	0	312,998	1,061
4	80	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P4_2	2,4	0	313,296	0,759
4	81	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P4_0	2,54	0	261,054	1,581
4	82	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P4_1	1,91	0	261,253	1,133
4	83	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P4_2	1,39	0	261,551	0,795
4	84	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P4_0	2,44	0	268,884	1,513
4	85	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P4_1	1,85	0	269,083	1,098
4	86	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P4_2	1,37	0	269,381	0,778
4	87	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P4_0	2,4	0	272,799	1,481
4	88	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P4_1	1,83	0	272,998	1,081
4	89	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P4_2	1,35	0	273,296	0,769
4	90	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P4_0	2,51	0	281,054	1,560
4	91	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P4_1	1,89	0	281,253	1,122
4	92	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P4_2	1,39	0	281,551	0,790
4	93	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P4_0	2,42	0	288,884	1,493
4	94	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P4_1	1,84	0	289,083	1,087
4	95	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P4_2	1,36	0	289,381	0,772
4	96	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P4_0	2,37	0	292,799	1,462
4	97	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P4_1	1,82	0	292,998	1,071
4	98	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P4_2	1,35	0	293,296	0,764
4	99	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P4_0	2,48	0	301,054	1,539
4	100	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P4_1	1,88	0	301,253	1,111
4	101	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P4_2	1,38	0	301,551	0,784
4	102	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P4_0	2,39	0	308,884	1,474
4	103	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P4_1	1,83	0	309,083	1,077
4	104	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P4_2	1,35	0	309,381	0,767
4	105	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P4_0	2,35	0	312,799	1,444
4	106	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P4_1	1,8	0	312,998	1,061
4	107	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P4_2	1,34	0	313,296	0,759
4	108	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P4_0	3,37	0	261,054	1,581
4	109	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P4_1	2,52	0	261,253	1,133
4	110	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P4_2	1,83	0	261,551	0,795
4	111	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P4_0	3,24	0	268,884	1,513
4	112	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P4_1	2,45	0	269,083	1,098
4	113	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P4_2	1,8	0	269,381	0,778
4	114	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P4_0	3,18	0	272,799	1,481
4	115	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P4_1	2,42	0	272,998	1,081

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
4	116	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P4_2	1,78	0	273,296	0,769
4	117	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P4_0	3,34	0	281,054	1,560
4	118	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P4_1	2,51	0	281,253	1,122
4	119	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P4_2	1,83	0	281,551	0,790
4	120	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P4_0	3,22	0	288,884	1,493
4	121	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P4_1	2,44	0	289,083	1,087
4	122	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P4_2	1,79	0	289,381	0,772
4	123	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P4_0	3,16	0	292,799	1,462
4	124	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P4_1	2,4	0	292,998	1,071
4	125	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P4_2	1,77	0	293,296	0,764
4	126	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P4_0	3,31	0	301,054	1,539
4	127	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P4_1	2,49	0	301,253	1,111
4	128	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P4_2	1,82	0	301,551	0,784
4	129	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P4_0	3,19	0	308,884	1,474
4	130	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P4_1	2,42	0	309,083	1,077
4	131	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P4_2	1,78	0	309,381	0,767
4	132	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P4_0	3,13	0	312,799	1,444
4	133	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P4_1	2,39	0	312,998	1,061
4	134	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P4_2	1,77	0	313,296	0,759
4	135	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P4_0	4,15	0	261,054	1,581
4	136	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P4_1	3,09	0	261,253	1,133
4	137	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P4_2	2,24	0	261,551	0,795
4	138	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P4_0	3,99	0	268,884	1,513
4	139	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P4_1	3	0	269,083	1,098
4	140	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P4_2	2,2	0	269,381	0,778
4	141	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P4_0	3,92	0	272,799	1,481
4	142	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P4_1	2,96	0	272,998	1,081
4	143	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P4_2	2,17	0	273,296	0,769
4	144	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P4_0	4,12	0	281,054	1,560
4	145	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P4_1	3,07	0	281,253	1,122
4	146	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P4_2	2,24	0	281,551	0,790
4	147	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P4_0	3,96	0	288,884	1,493
4	148	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P4_1	2,99	0	289,083	1,087
4	149	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P4_2	2,19	0	289,381	0,772
4	150	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P4_0	3,89	0	292,799	1,462
4	151	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P4_1	2,95	0	292,998	1,071
4	152	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P4_2	2,17	0	293,296	0,764
4	153	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P4_0	4,08	0	301,054	1,539
4	154	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P4_1	3,06	0	301,253	1,111
4	155	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P4_2	2,23	0	301,551	0,784
4	156	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P4_0	3,93	0	308,884	1,474
4	157	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P4_1	2,97	0	309,083	1,077
4	158	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P4_2	2,18	0	309,381	0,767
4	159	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P4_0	3,86	0	312,799	1,444
4	160	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P4_1	2,93	0	312,998	1,061
4	161	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P4_2	2,16	0	313,296	0,759
5	0	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P5_0	1,73	0	261,305	0,918
5	1	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P5_1	1,18	0	261,655	0,599
5	2	P0_0-P1_0-P2_0-P3_0-P5_2	0,89	0	262,005	0,444
5	3	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P5_0	1,69	0	269,135	0,895

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
5	4	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P5_1	1,16	0	269,485	0,589
5	5	P0_0-P1_0-P2_0-P3_1-P5_2	0,88	0	269,835	0,439
5	6	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P5_0	1,68	0	273,050	0,884
5	7	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P5_1	1,15	0	273,400	0,584
5	8	P0_0-P1_0-P2_0-P3_2-P5_2	0,88	0	273,750	0,436
5	9	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P5_0	1,73	0	281,305	0,911
5	10	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P5_1	1,17	0	281,655	0,596
5	11	P0_0-P1_0-P2_1-P3_0-P5_2	0,89	0	282,005	0,442
5	12	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P5_0	1,69	0	289,135	0,888
5	13	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P5_1	1,16	0	289,485	0,586
5	14	P0_0-P1_0-P2_1-P3_1-P5_2	0,88	0	289,835	0,437
5	15	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P5_0	1,67	0	293,050	0,877
5	16	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P5_1	1,15	0	293,400	0,581
5	17	P0_0-P1_0-P2_1-P3_2-P5_2	0,88	0	293,750	0,434
5	18	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P5_0	1,72	0	301,305	0,904
5	19	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P5_1	1,17	0	301,655	0,593
5	20	P0_0-P1_0-P2_2-P3_0-P5_2	0,89	0	302,005	0,441
5	21	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P5_0	1,68	0	309,135	0,881
5	22	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P5_1	1,15	0	309,485	0,583
5	23	P0_0-P1_0-P2_2-P3_1-P5_2	0,88	0	309,835	0,435
5	24	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P5_0	1,66	0	313,050	0,870
5	25	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P5_1	1,14	0	313,400	0,578
5	26	P0_0-P1_0-P2_2-P3_2-P5_2	0,87	0	313,750	0,433
5	27	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P5_0	2,3	0	261,305	0,918
5	28	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P5_1	1,55	0	261,655	0,599
5	29	P0_0-P1_1-P2_0-P3_0-P5_2	1,18	0	262,005	0,444
5	30	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P5_0	2,25	0	269,135	0,895
5	31	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P5_1	1,53	0	269,485	0,589
5	32	P0_0-P1_1-P2_0-P3_1-P5_2	1,16	0	269,835	0,439
5	33	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P5_0	2,22	0	273,050	0,884
5	34	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P5_1	1,52	0	273,400	0,584
5	35	P0_0-P1_1-P2_0-P3_2-P5_2	1,15	0	273,750	0,436
5	36	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P5_0	2,29	0	281,305	0,911
5	37	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P5_1	1,55	0	281,655	0,596
5	38	P0_0-P1_1-P2_1-P3_0-P5_2	1,18	0	282,005	0,442
5	39	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P5_0	2,24	0	289,135	0,888
5	40	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P5_1	1,53	0	289,485	0,586
5	41	P0_0-P1_1-P2_1-P3_1-P5_2	1,16	0	289,835	0,437
5	42	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P5_0	2,21	0	293,050	0,877
5	43	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P5_1	1,52	0	293,400	0,581
5	44	P0_0-P1_1-P2_1-P3_2-P5_2	1,16	0	293,750	0,434
5	45	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P5_0	2,29	0	301,305	0,904
5	46	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P5_1	1,55	0	301,655	0,593
5	47	P0_0-P1_1-P2_2-P3_0-P5_2	1,18	0	302,005	0,441
5	48	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P5_0	2,23	0	309,135	0,881
5	49	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P5_1	1,53	0	309,485	0,583
5	50	P0_0-P1_1-P2_2-P3_1-P5_2	1,16	0	309,835	0,435
5	51	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P5_0	2,21	0	313,050	0,870
5	52	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P5_1	1,52	0	313,400	0,578
5	53	P0_0-P1_1-P2_2-P3_2-P5_2	1,16	0	313,750	0,433

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
5	54	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P5_0	2,83	0	261,305	0,918
5	55	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P5_1	1,91	0	261,655	0,599
5	56	P0_0-P1_2-P2_0-P3_0-P5_2	1,44	0	262,005	0,444
5	57	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P5_0	2,77	0	269,135	0,895
5	58	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P5_1	1,88	0	269,485	0,589
5	59	P0_0-P1_2-P2_0-P3_1-P5_2	1,42	0	269,835	0,439
5	60	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P5_0	2,73	0	273,050	0,884
5	61	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P5_1	1,86	0	273,400	0,584
5	62	P0_0-P1_2-P2_0-P3_2-P5_2	1,42	0	273,750	0,436
5	63	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P5_0	2,83	0	281,305	0,911
5	64	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P5_1	1,91	0	281,655	0,596
5	65	P0_0-P1_2-P2_1-P3_0-P5_2	1,44	0	282,005	0,442
5	66	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P5_0	2,76	0	289,135	0,888
5	67	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P5_1	1,88	0	289,485	0,586
5	68	P0_0-P1_2-P2_1-P3_1-P5_2	1,43	0	289,835	0,437
5	69	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P5_0	2,73	0	293,050	0,877
5	70	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P5_1	1,86	0	293,400	0,581
5	71	P0_0-P1_2-P2_1-P3_2-P5_2	1,42	0	293,750	0,434
5	72	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P5_0	2,82	0	301,305	0,904
5	73	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P5_1	1,91	0	301,655	0,593
5	74	P0_0-P1_2-P2_2-P3_0-P5_2	1,45	0	302,005	0,441
5	75	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P5_0	2,75	0	309,135	0,881
5	76	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P5_1	1,88	0	309,485	0,583
5	77	P0_0-P1_2-P2_2-P3_1-P5_2	1,43	0	309,835	0,435
5	78	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P5_0	2,72	0	313,050	0,870
5	79	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P5_1	1,86	0	313,400	0,578
5	80	P0_0-P1_2-P2_2-P3_2-P5_2	1,42	0	313,750	0,433
5	81	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P5_0	1,58	0	261,305	0,918
5	82	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P5_1	1,08	0	261,655	0,599
5	83	P0_1-P1_0-P2_0-P3_0-P5_2	0,82	0	262,005	0,444
5	84	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P5_0	1,55	0	269,135	0,895
5	85	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P5_1	1,06	0	269,485	0,589
5	86	P0_1-P1_0-P2_0-P3_1-P5_2	0,81	0	269,835	0,439
5	87	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P5_0	1,53	0	273,050	0,884
5	88	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P5_1	1,05	0	273,400	0,584
5	89	P0_1-P1_0-P2_0-P3_2-P5_2	0,8	0	273,750	0,436
5	90	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P5_0	1,58	0	281,305	0,911
5	91	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P5_1	1,07	0	281,655	0,596
5	92	P0_1-P1_0-P2_1-P3_0-P5_2	0,82	0	282,005	0,442
5	93	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P5_0	1,54	0	289,135	0,888
5	94	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P5_1	1,06	0	289,485	0,586
5	95	P0_1-P1_0-P2_1-P3_1-P5_2	0,81	0	289,835	0,437
5	96	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P5_0	1,52	0	293,050	0,877
5	97	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P5_1	1,05	0	293,400	0,581
5	98	P0_1-P1_0-P2_1-P3_2-P5_2	0,8	0	293,750	0,434
5	99	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P5_0	1,57	0	301,305	0,904
5	100	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P5_1	1,07	0	301,655	0,593
5	101	P0_1-P1_0-P2_2-P3_0-P5_2	0,81	0	302,005	0,441
5	102	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P5_0	1,53	0	309,135	0,881

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
5	103	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P5_1	1,05	0	309,485	0,583
5	104	P0_1-P1_0-P2_2-P3_1-P5_2	0,8	0	309,835	0,435
5	105	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P5_0	1,51	0	313,050	0,870
5	106	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P5_1	1,04	0	313,400	0,578
5	107	P0_1-P1_0-P2_2-P3_2-P5_2	0,8	0	313,750	0,433
5	108	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P5_0	2,09	0	261,305	0,918
5	109	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P5_1	1,41	0	261,655	0,599
5	110	P0_1-P1_1-P2_0-P3_0-P5_2	1,07	0	262,005	0,444
5	111	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P5_0	2,04	0	269,135	0,895
5	112	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P5_1	1,39	0	269,485	0,589
5	113	P0_1-P1_1-P2_0-P3_1-P5_2	1,06	0	269,835	0,439
5	114	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P5_0	2,02	0	273,050	0,884
5	115	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P5_1	1,38	0	273,400	0,584
5	116	P0_1-P1_1-P2_0-P3_2-P5_2	1,05	0	273,750	0,436
5	117	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P5_0	2,08	0	281,305	0,911
5	118	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P5_1	1,41	0	281,655	0,596
5	119	P0_1-P1_1-P2_1-P3_0-P5_2	1,07	0	282,005	0,442
5	120	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P5_0	2,03	0	289,135	0,888
5	121	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P5_1	1,39	0	289,485	0,586
5	122	P0_1-P1_1-P2_1-P3_1-P5_2	1,06	0	289,835	0,437
5	123	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P5_0	2,01	0	293,050	0,877
5	124	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P5_1	1,38	0	293,400	0,581
5	125	P0_1-P1_1-P2_1-P3_2-P5_2	1,05	0	293,750	0,434
5	126	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P5_0	2,07	0	301,305	0,904
5	127	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P5_1	1,41	0	301,655	0,593
5	128	P0_1-P1_1-P2_2-P3_0-P5_2	1,07	0	302,005	0,441
5	129	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P5_0	2,02	0	309,135	0,881
5	130	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P5_1	1,39	0	309,485	0,583
5	131	P0_1-P1_1-P2_2-P3_1-P5_2	1,06	0	309,835	0,435
5	132	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P5_0	2	0	313,050	0,870
5	133	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P5_1	1,38	0	313,400	0,578
5	134	P0_1-P1_1-P2_2-P3_2-P5_2	1,05	0	313,750	0,433
5	135	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P5_0	2,56	0	261,305	0,918
5	136	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P5_1	1,72	0	261,655	0,599
5	137	P0_1-P1_2-P2_0-P3_0-P5_2	1,3	0	262,005	0,444
5	138	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P5_0	2,5	0	269,135	0,895
5	139	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P5_1	1,7	0	269,485	0,589
5	140	P0_1-P1_2-P2_0-P3_1-P5_2	1,29	0	269,835	0,439
5	141	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P5_0	2,47	0	273,050	0,884
5	142	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P5_1	1,68	0	273,400	0,584
5	143	P0_1-P1_2-P2_0-P3_2-P5_2	1,28	0	273,750	0,436
5	144	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P5_0	2,55	0	281,305	0,911
5	145	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P5_1	1,72	0	281,655	0,596
5	146	P0_1-P1_2-P2_1-P3_0-P5_2	1,3	0	282,005	0,442
5	147	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P5_0	2,49	0	289,135	0,888
5	148	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P5_1	1,7	0	289,485	0,586
5	149	P0_1-P1_2-P2_1-P3_1-P5_2	1,29	0	289,835	0,437
5	150	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P5_0	2,46	0	293,050	0,877
5	151	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P5_1	1,68	0	293,400	0,581
5	152	P0_1-P1_2-P2_1-P3_2-P5_2	1,28	0	293,750	0,434

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

(continua)

Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C _T (kJ/m ² .K)	U (W/m ² .K)
5	153	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P5_0	2,54	0	301,305	0,904
5	154	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P5_1	1,72	0	301,655	0,593
5	155	P0_1-P1_2-P2_2-P3_0-P5_2	1,3	0	302,005	0,441
5	156	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P5_0	2,48	0	309,135	0,881
5	157	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P5_1	1,69	0	309,485	0,583
5	158	P0_1-P1_2-P2_2-P3_1-P5_2	1,29	0	309,835	0,435
5	159	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P5_0	2,45	0	313,050	0,870
5	160	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P5_1	1,68	0	313,400	0,578
5	161	P0_1-P1_2-P2_2-P3_2-P5_2	1,28	0	313,750	0,433
6	0	P0_0-P1_0-P2_0-P5_0	1,55	0	136,894	0,837
6	1	P0_0-P1_0-P2_0-P5_1	1,08	0	137,244	0,563
6	2	P0_0-P1_0-P2_0-P5_2	0,83	0	137,594	0,424
6	3	P0_0-P1_0-P2_1-P5_0	1,54	0	176,894	0,825
6	4	P0_0-P1_0-P2_1-P5_1	1,08	0	177,244	0,557
6	5	P0_0-P1_0-P2_1-P5_2	0,83	0	177,594	0,421
6	6	P0_0-P1_0-P2_2-P5_0	1,54	0	216,894	0,813
6	7	P0_0-P1_0-P2_2-P5_1	1,08	0	217,244	0,552
6	8	P0_0-P1_0-P2_2-P5_2	0,83	0	217,594	0,418
6	9	P0_0-P1_1-P2_0-P5_0	2,04	0	136,894	0,837
6	10	P0_0-P1_1-P2_0-P5_1	1,41	0	137,244	0,563
6	11	P0_0-P1_1-P2_0-P5_2	1,08	0	137,594	0,424
6	12	P0_0-P1_1-P2_1-P5_0	2,03	0	176,894	0,825
6	13	P0_0-P1_1-P2_1-P5_1	1,41	0	177,244	0,557
6	14	P0_0-P1_1-P2_1-P5_2	1,08	0	177,594	0,421
6	15	P0_0-P1_1-P2_2-P5_0	2,02	0	216,894	0,813
6	16	P0_0-P1_1-P2_2-P5_1	1,41	0	217,244	0,552
6	17	P0_0-P1_1-P2_2-P5_2	1,09	0	217,594	0,418
6	18	P0_0-P1_2-P2_0-P5_0	2,49	0	136,894	0,837
6	19	P0_0-P1_2-P2_0-P5_1	1,72	0	137,244	0,563
6	20	P0_0-P1_2-P2_0-P5_2	1,31	0	137,594	0,424
6	21	P0_0-P1_2-P2_1-P5_0	2,49	0	176,894	0,825
6	22	P0_0-P1_2-P2_1-P5_1	1,72	0	177,244	0,557
6	23	P0_0-P1_2-P2_1-P5_2	1,32	0	177,594	0,421
6	24	P0_0-P1_2-P2_2-P5_0	2,48	0	216,894	0,813
6	25	P0_0-P1_2-P2_2-P5_1	1,73	0	217,244	0,552
6	26	P0_0-P1_2-P2_2-P5_2	1,33	0	217,594	0,418
6	27	P0_1-P1_0-P2_0-P5_0	1,43	0	136,894	0,837
6	28	P0_1-P1_0-P2_0-P5_1	1	0	137,244	0,563
6	29	P0_1-P1_0-P2_0-P5_2	0,77	0	137,594	0,424
6	30	P0_1-P1_0-P2_1-P5_0	1,42	0	176,894	0,825
6	31	P0_1-P1_0-P2_1-P5_1	0,99	0	177,244	0,557
6	32	P0_1-P1_0-P2_1-P5_2	0,77	0	177,594	0,421
6	33	P0_1-P1_0-P2_2-P5_0	1,41	0	216,894	0,813
6	34	P0_1-P1_0-P2_2-P5_1	0,99	0	217,244	0,552
6	35	P0_1-P1_0-P2_2-P5_2	0,77	0	217,594	0,418
6	36	P0_1-P1_1-P2_0-P5_0	1,86	0	136,894	0,837
6	37	P0_1-P1_1-P2_0-P5_1	1,29	0	137,244	0,563
6	38	P0_1-P1_1-P2_0-P5_2	0,99	0	137,594	0,424
6	39	P0_1-P1_1-P2_1-P5_0	1,86	0	176,894	0,825
6	40	P0_1-P1_1-P2_1-P5_1	1,29	0	177,244	0,557

Tabela 14 - Resultados das simulações paramétricas

						(conclusão)
Parede	#	ID da simulação	CgTR (kWh)	CgTA (kWh)	C_T (kJ/m².K)	U (W/m².K)
6	41	P0_1-P1_1-P2_1-P5_2	0,99	0	177,594	0,421
6	42	P0_1-P1_1-P2_2-P5_0	1,84	0	216,894	0,813
6	43	P0_1-P1_1-P2_2-P5_1	1,29	0	217,244	0,552
6	44	P0_1-P1_1-P2_2-P5_2	0,99	0	217,594	0,418
6	45	P0_1-P1_2-P2_0-P5_0	2,27	0	136,894	0,837
6	46	P0_1-P1_2-P2_0-P5_1	1,56	0	137,244	0,563
6	47	P0_1-P1_2-P2_0-P5_2	1,2	0	137,594	0,424
6	48	P0_1-P1_2-P2_1-P5_0	2,26	0	176,894	0,825
6	49	P0_1-P1_2-P2_1-P5_1	1,57	0	177,244	0,557
6	50	P0_1-P1_2-P2_1-P5_2	1,2	0	177,594	0,421
6	51	P0_1-P1_2-P2_2-P5_0	2,25	0	216,894	0,813
6	52	P0_1-P1_2-P2_2-P5_1	1,57	0	217,244	0,552
6	53	P0_1-P1_2-P2_2-P5_2	1,21	0	217,594	0,418

Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE C

RESULTADOS DO TESTE DE TUKEY PARA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E CAPACIDADE TÉRMICA.

Tabela 15 - Teste de Tukey para capacidade térmica

(continua)

C_T (kJ/m ² .K)	Média	Agrupamento																																	
177,92	5,707	A																																	
197,92	5,605	A	B																																
217,92	5,507	A	B	C																															
185,75	5,353	A	B	C	D																														
205,75	5,265	A	B	C	D																														
189,66	5,195	A	B	C	D																														
225,75	5,180	A	B	C	D																														
98,27	5,130	A	B	C	D																														
209,66	5,113	A	B	C	D	E																													
229,66	5,035	A	B	C	D	E	F																												
138,27	4,943	A	B	C	D	E	F	G																											
178,27	4,788	A	B	C	D	E	F	G	H																										
98,37	4,058		B	C	D	E	F	G	H	I																									
138,37	3,953			C	D	E	F	G	H	I																									
178,37	3,860				D	E	F	G	H	I																									
261,05	3,533					E	F	G	H	I	J																								
281,05	3,502						F	G	H	I	J	K																							
301,05	3,470							F	G	H	I	J	K	L																					
268,88	3,397								G	H	I	J	K	L	M																				
288,88	3,372									G	H	I	J	K	L	M																			
308,88	3,343										H	I	J	K	L	M																			
272,80	3,337											H	I	J	K	L	M																		
292,80	3,308												H	I	J	K	L	M																	
312,80	3,282													H	I	J	K	L	M																
98,57	2,875														I	J	K	L	M	N															
138,57	2,832															I	J	K	L	M	N														
178,57	2,795																I	J	K	L	M	N													
261,25	2,637																	I	J	K	L	M	N	O											
281,25	2,623																		I	J	K	L	M	N	O	P									
301,25	2,607																			I	J	K	L	M	N	O	P								
269,08	2,560																				I	J	K	L	M	N	O	P							
289,08	2,550																					I	J	K	L	M	N	O	P						
309,08	2,537																						I	J	K	L	M	N	O	P					
273,00	2,525																						I	J	K	L	M	N	O	P					
293,00	2,513																							I	J	K	L	M	N	O	P				
313,00	2,500																							I	J	K	L	M	N	O	P				
261,31	2,182																							J	K	L	M	N	O	P					
281,31	2,177																								J	K	L	M	N	O	P				
301,31	2,168																								J	K	L	M	N	O	P				
269,14	2,133																									J	K	L	M	N	O	P			
289,14	2,125																										J	K	L	M	N	O	P		
309,14	2,115																										J	K	L	M	N	O	P		
273,05	2,108																											J	K	L	M	N	O	P	
293,05	2,100																												J	K	L	M	N	O	P

Tabela 15 - Teste de Tukey para capacidade térmica

(conclusão)

C_T (kJ/m ² .K)	Média	Agrupamento							
313,05	2,092	J	K	L	M	N	O	P	
98,87	2,012	J	K	L	M	N	O	P	
138,87	1,998	J	K	L	M	N	O	P	
178,87	1,985	J	K	L	M	N	O	P	
136,89	1,940	J	K	L	M	N	O	P	
176,89	1,933		K	L	M	N	O	P	
216,89	1,923		K	L	M	N	O	P	
261,55	1,913		K	L	M	N	O	P	
281,55	1,912		K	L	M	N	O	P	
301,55	1,905			L	M	N	O	P	
269,38	1,878			L	M	N	O	P	
289,38	1,872				M	N	O	P	
309,38	1,865				M	N	O	P	
273,30	1,858				M	N	O	P	
293,30	1,853				M	N	O	P	
313,30	1,848				M	N	O	P	
261,66	1,475					N	O	P	
281,66	1,472					N	O	P	
301,66	1,472					N	O	P	
289,49	1,453					N	O	P	
269,49	1,453					N	O	P	
309,49	1,448					N	O	P	
293,40	1,440					N	O	P	
273,40	1,440					N	O	P	
313,40	1,437					N	O	P	
217,24	1,345					N	O	P	
177,24	1,343					N	O	P	
137,24	1,343					N	O	P	
282,01	1,117						O	P	
302,01	1,117						O	P	
262,01	1,117						O	P	
289,84	1,105						O	P	
309,84	1,103						O	P	
269,84	1,103						O	P	
293,75	1,098						O	P	
313,75	1,097						O	P	
273,75	1,097						O	P	
217,59	1,037							P	
177,59	1,032								P
137,59	1,030								P

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 16 - Teste de Tukey para transmitância térmica

(continua)

U (W/m ² .K)	Média	Agrupamento																																				
2,78	5,707	A																																				
2,72	5,605	A	B																																			
2,65	5,507	A	B	C																																		
2,58	5,353	A	B	C	D																																	
2,52	5,265	A	B	C	D																																	
2,49	5,195	A	B	C	D																																	
2,47	5,180	A	B	C	D																																	
2,47	5,130	A	B	C	D																																	
2,43	5,113	A	B	C	D	E																																
2,38	5,035	A	B	C	D	E	F																															
2,37	4,943	A	B	C	D	E	F	G																														
2,27	4,788	A	B	C	D	E	F	G	H																													
1,89	4,058		B	C	D	E	F	G	H	I																												
1,83	3,953			C	D	E	F	G	H	I																												
1,77	3,860				D	E	F	G	H	I																												
1,58	3,533					E	F	G	H	I	J																											
1,56	3,502						F	G	H	I	J	K																										
1,54	3,470							F	G	H	I	J	K	L																								
1,51	3,397								G	H	I	J	K	L	M																							
1,49	3,372									G	H	I	J	K	L	M																						
1,47	3,343										H	I	J	K	L	M																						
1,48	3,337											H	I	J	K	L	M																					
1,46	3,308												H	I	J	K	L	M																				
1,44	3,282													H	I	J	K	L	M																			
1,28	2,875														I	J	K	L	M	N																		
1,25	2,832															I	J	K	L	M	N																	
1,23	2,795																I	J	K	L	M	N																
1,13	2,637																	I	J	K	L	M	N	O														
1,12	2,623																		I	J	K	L	M	N	O	P												
1,11	2,607																			I	J	K	L	M	N	O	P											
1,10	2,560																				I	J	K	L	M	N	O	P										
1,09	2,550																					I	J	K	L	M	N	O	P									
1,08	2,537																						I	J	K	L	M	N	O	P								
1,08	2,525																							I	J	K	L	M	N	O	P							
1,07	2,513																								I	J	K	L	M	N	O	P						
1,06	2,500																									I	J	K	L	M	N	O	P					
0,92	2,182																										J	K	L	M	N	O	P					
0,91	2,177																											J	K	L	M	N	O	P				
0,90	2,168																												J	K	L	M	N	O	P			
0,90	2,133																													J	K	L	M	N	O	P		
0,89	2,125																														J	K	L	M	N	O	P	
0,88	2,115																														J	K	L	M	N	O	P	
0,88	2,108																															J	K	L	M	N	O	P
0,88	2,100																															J	K	L	M	N	O	P
0,87	2,092																															J	K	L	M	N	O	P
0,87	2,012																															J	K	L	M	N	O	P
0,85	1,998																															J	K	L	M	N	O	P
0,84	1,985																															J	K	L	M	N	O	P
0,84	1,940																															J	K	L	M	N	O	P

Tabela 16 - Teste de Tukey para transmitância térmica

(continua)

U (W/m ² .K)	Média	Agrupamento					
0,83	1,933	K	L	M	N	O	P
0,81	1,923	K	L	M	N	O	P
0,80	1,913	K	L	M	N	O	P
0,79	1,912	K	L	M	N	O	P
0,78	1,905		L	M	N	O	P
0,78	1,878		L	M	N	O	P
0,77	1,872			M	N	O	P
0,77	1,865			M	N	O	P
0,77	1,858			M	N	O	P
0,76	1,853			M	N	O	P
0,76	1,848			M	N	O	P
0,60	1,475				N	O	P
0,59	1,472				N	O	P
0,60	1,472				N	O	P
0,59	1,453				N	O	P
0,59	1,453				N	O	P
0,58	1,448				N	O	P
0,58	1,440				N	O	P
0,58	1,440				N	O	P
0,58	1,437				N	O	P
0,55	1,345				N	O	P
0,56	1,343				N	O	P
0,56	1,343				N	O	P
0,44	1,117					O	P
0,44	1,117					O	P
0,44	1,117					O	P
0,44	1,105					O	P
0,44	1,103					O	P
0,44	1,103					O	P
0,43	1,098					O	P
0,44	1,097					O	P
0,43	1,097					O	P
0,42	1,037						P
0,42	1,032						P
0,42	1,030						P

Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.