

INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE
VEDAÇÃO E COBERTURA DE UMA EDIFICAÇÃO
EMPREGANDO O SOFTWARE ENERGYPLUS**

RAIZA PERES DE ALMEIDA

Rio Verde – GO

2020

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE
VEDAÇÃO E COBERTURA DE UMA EDIFICAÇÃO EMPREGANDO O
SOFTWARE ENERGYPLUS**

RAIZA PERES DE ALMEIDA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como Requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Mayda Miguel Silva de Castro

Coorientador (a): Prof (a) Me. Lorena Araújo Silva

Rio Verde – GO

Janeiro, 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

AAL447 ALMEIDA, Raiza Peres de
a Análise do desempenho térmico de sistemas de
vedação e cobertura de uma edificação empregando o
software EnergyPlus / Raiza Peres de
ALMEIDA;orientadora Mayda Miguel Silva de CASTRO; co-
orientadora Lorena Araújo SILVA. -- Rio Verde, 2020.
55 p.

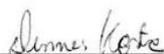
Monografia (em Engenharia Civil) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Telha. 2. Tijolo. 3. Análise computacional. I.
CASTRO, Mayda Miguel Silva de, orient. II. SILVA,
Lorena Araújo, co-orient. III. Título.

RAIZA PERES DE ALMEIDA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS DE
VEDAÇÃO E COBERTURA DE UMA EDIFICAÇÃO
EMPREGANDO O SOFTWARE ENERGYPLUS**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 30 de janeiro de 2020, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Denner Ferreira Costa



Cássio Fonseca Horbilon



Mayda Miguel Silva de Castro

Rio Verde, GO

Janeiro, 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me abençoar todos os dias com o dom da vida, por ter me dado saúde e forças para lutar e correr atrás dos meus objetivos.

Agradeço a toda minha família que sempre me incentivaram e me ajudaram para que esse título fosse alcançado, meus pais Marcos Donizete e Ivana, meu irmão Marcos Felipe, minha avó Miralva, todos os meus tios e primos. Muitos podem achar que não tiveram um papel especial, mas todos tiveram, desde apenas me escutar ou as vezes falarem uma palavra certa no momento certo, até me darem uma lapiseira ou até mesmo uma moto... e como essa moto ajudou nesses imprevistos que a faculdade trás, como estudar em um turno e ter que pagar matéria em outro!

Não posso deixar de agradecer a todos os meus amigos que sempre estiveram comigo nos momentos de descontrações e nos momentos de lágrimas e desespero. Aos meus amigos de fora da faculdade, por me ajudar a esquecer um pouco todas as tensões vividas, por me ajudar a lembrar que a vida não é só faculdade e estudos. Impossível citar todos, mas algumas pessoas se destacam por além de ajudar descontrair, estão sempre acompanhando todos os meus passos, que é a Ritiane e a Thays, e de um tempo para cá, a Clara entrou nesse time e pegou bastante no meu pé junto as outras duas para que eu pudesse concluir mais essa etapa de minha vida.

Aos amigos que a faculdade me deu fica difícil expressar tamanho agradecimento e companheirismo, pessoas que ajudei e fui ajudada na faculdade e com a graça de Deus, continuaremos assim no mundo lá fora. Alguns trocaram de curso ou faculdade, outros formaram primeiro e ainda tem os que formarão, mas sou muito grata a todos. Assim como os amigos de fora da faculdade, os de dentro também são incontáveis e impossível de citar todos, mas meu muito obrigada a Eduarda, a Eva, a Karla, a Rejane e ao Selmi.

Uma amiga que merece agradecimentos especiais é a Mayda, que hoje posso dizer, minha orientadora! Obrigada por todas as vezes que me ajudou na faculdade, principalmente nesse momento tão delicado que é o trabalho final, obrigada por ter aceito me ajudar mesmo faltando pouco tempo, um tema um pouco assustador e com o trabalho já em andamento, mas todos sabemos que imprevistos acontecem e dessa forma não posso deixar de agradecer a Lorena que me auxiliou no começo deste trabalho.

Outra pessoa que merece destaque é a Natalia, cujas palavras não são suficientes para expressar toda minha gratidão! Companheira de todos os momentos, pessoa que sempre me incentivou a ser alguém melhor, comemorava minhas vitórias, me amparava nas derrotas e me motivava a enfrentá-las novamente e vencê-las. Não imagino como teria sido esse curso se eu não tivesse você ao meu lado. Muito obrigada por tudo!

RESUMO

ALMEIDA, Raiza Peres de. **Análise do desempenho térmico de sistemas de vedação e cobertura de uma edificação empregando o software EnergyPlus**. 2020. 55 p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

Com os diferentes tipos de clima existentes, até mesmo dentro de um único país, não é possível falar que um único tipo de sistema de vedação ou sistema de cobertura é o melhor. Uma edificação situada em região de clima mais frio não exige as mesmas características de uma edificação localizada em clima quente. Com base nisso, ressalta-se a importância de compreender o desempenho térmico da edificação de acordo com o clima da região. Uma das formas de realizar esse estudo se dá através da análise computacional, utilizando softwares desenvolvidos especificamente para essa área. Nesse contexto, realizou-se um estudo no software EnergyPlus tendo como base o clima da cidade de Rio Verde – GO, através da análise de dois tipos de sistema de cobertura, telha cerâmica e telha de fibrocimento, e três tipos de sistema de vedação, tijolo maciço aparente e tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor e na maior direção para saber qual conjunto de sistema de vedação e sistema de cobertura se comportaria melhor na cidade em análise. Concluiu-se que para a cidade em questão o conjunto que obteve melhor desempenho térmico foi a telha de fibrocimento com o tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção.

Palavras-Chave: telha, tijolo, análise computacional.

ABSTRACT

ALMEIDA, Raiza Peres de. **Analysis of the thermal performance of a building's fence and roof systems using the EnergyPlus software.** 2020. 55 p Monography (Bachelor's Degree in Civil Engineering). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

With the different types of climate that exist, even within a single country, it is not possible to say that a single type of fence system or roof system is the best. A building located in a colder climate does not require the same characteristics as a building located in a hot climate. Based on this, the importance of understanding the building's thermal performance according to the region's climate is emphasized. One of the ways to carry out this study is through computational analysis, using software developed specifically for this area. In this context, a study was carried out in the EnergyPlus software based on the climate of the city of Rio Verde - GO, through the analysis of two types of roofing system, ceramic tile and fiber cement tile, and three types of sealing system, exposed massive brick and 8 square-hole brick seated in the smallest and largest direction to find out which set of sealing system and roofing system would be better in the city under analysis. It was concluded that for the city in question, the set that obtained the best thermal performance was the fiber cement tile with the brick of 8 square holes laid in the smallest direction.

Keywords: tile, brick, computational analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trocas de calor através de paredes opacas.	18
Figura 2 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas.	18
Figura 3 - Planta baixa edificação.	21
Figura 4 - Localização.	24
Figura 5 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 1.....	25
Figura 6 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 2.....	25
Figura 7 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 3.....	26
Figura 8 - Visualização 3D da edificação, parte 1.....	27
Figura 9 - Visualização 3D da edificação, parte 2.....	27
Figura 10 - Visualização 3D da edificação, parte 3.....	28
Figura 11 - Visualização 3D da edificação, parte 4.....	28
Figura 12 - Atribuição zona térmica na edificação.	29
Figura 13 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados para sistemas de vedação.....	29
Figura 14 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados para sistemas de cobertura.	29
Figura 15 - Especificações parede de tijolo maciço aparente.....	30
Figura 16 - Especificações parede de tijolo 8 furos quadrados, assentados na menor direção.	30
Figura 17 - Especificações parede de tijolo 8 furos quadrados, assentados na maior direção..	30
Figura 18 - Especificações telha de barro e telha de fibrocimento.....	31
Figura 19 - Inserção dos dados climáticos da cidade de Rio Verde - GO.....	31
Figura 20 - Atribuição de cargas térmicas ideais para a simulação.	32
Figura 21 - Configurando o resultado esperado.	33
Figura 22 - Configuração laje.....	33
Figura 23 - Configuração telha fibrocimento.	34
Figura 24 - Configuração telha cerâmica.	34
Figura 25 - Configuração parede de tijolo maciço aparente.....	35
Figura 26 - Configuração parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção.	35
Figura 27 - Configuração parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção.	36

Figura 28 - Interface da simulação, parte 1.	36
Figura 29 - Interface da simulação, parte 2.	37
Figura 30 - Arquivo criado com os resultados de cada análise.	37
Figura 31 - Resultados do local da simulação.	38
Figura 32 - Resultado da relação parede-janela.	38
Figura 33 - Resultado da relação telhado-claraboia.	38
Figura 34 - Comparativo dos resultados adição de calor sensível as pessoas.	43
Figura 35 - Comparativo dos resultados adição de calor nas janelas.	43
Figura 36 - Comparativo dos resultados adição de calor por infiltração.	44
Figura 37 - Comparativo dos resultados condução de superfície opaca e outras adições de calor.	44
Figura 38 - Comparativo dos resultados remoção de calor pelas janelas.	45
Figura 39 - Comparativo dos resultados remoção de calor por infiltração.	45
Figura 40 - Comparativo valor total de adição de calor.	46
Figura 41 - Comparativo valor total de remoção de calor.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de metabolismo para várias atividades.....	14
Tabela 2 - Resistência térmica do vestuário	15
Tabela 3 - Esquadrias	22
Tabela 4 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo maciço aparente e telha de fibrocimento	39
Tabela 5 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo maciço aparente e telha de fibrocimento	39
Tabela 6 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo maciço aparente e telha cerâmica	39
Tabela 7 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo maciço aparente e telha cerâmica.....	40
Tabela 8 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha cerâmica	40
Tabela 9 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha cerâmica	40
Tabela 10 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha fibrocimento	41
Tabela 11 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha fibrocimento	41
Tabela 12 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha fibrocimento	41
Tabela 13 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha fibrocimento	42
Tabela 14 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha cerâmica	42
Tabela 15 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha cerâmica	42

LISTA DE ABREVIACOES

NBR	Norma Brasileira
°C	Graus Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	Organização Internacional para Padronização
W/m ²	Watt / metro quadrado
W/pessoa	Watt / pessoa
DOE	Departamento de Energia dos EUA
mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
deg	Graus
hrs	Horas
%	Porcentagem
GJ	Giga Joule
met	Definição padrão da unidade de medida de metabolismo para o tipo de atividade
clo	Definição padrão da unidade de medida de resistência térmica para vestuário
Blast	Building Loads Analysis and System Thermodynamics
BTO	Escritório de Tecnologias de Construção
NREL	National Renewable Energy Laboratory

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Conforto Térmico	13
2.1.1	Análise dos parâmetros.....	14
2.2	Comportamento Térmico da Construção	15
2.2.1	Influência do sistema de cobertura no conforto térmico de edificações.....	17
2.2.2	Influência do sistema de vedação no conforto térmico de edificações.....	17
2.3	Simulações Computacionais para Determinação do Conforto Térmico de Edificações	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	Caracterização da Edificação	21
3.1.1	Cômodos.....	22
3.2	Caracterização da Localização.....	23
3.3	Análise Computacional.....	24
3.3.1	EnergyPlus.....	24
3.3.2	SketchUp	26
3.3.3	Openstudio.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÕES	48
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7	APÊNDICE	50

1 INTRODUÇÃO

Ao adentrar em qualquer tipo de edificação, todos buscam uma temperatura agradável, tanto em dias mais frios, quanto em dias mais quentes. O ocupante do ambiente necessita de um conforto térmico, pois a falta dele prejudica o desenvolvimento das atividades a serem realizadas, seja trabalhar, estudar, relaxar, etc.

De maneira simplificada, podemos dizer que se atinge o conforto térmico quando o indivíduo não está sentindo nem frio e nem calor. O tipo de roupa utilizada pela pessoa auxilia a atingir esse conforto, em dias mais quentes pode-se colocar, por exemplo, roupas mais leves e frescas e em dias mais frios, roupas mais quentes e compridas.

A forma, o formato e os materiais que foram utilizados na construção da edificação contribuem bastante para o aumento do conforto térmico. No sistema de vedação pode ser citado por exemplo o tipo de tijolo, espessura do revestimento, tipo de revestimento, tipo e cor da pintura, tamanhos e materiais utilizados em portas e janelas. Já no sistema de cobertura pode ser citado tipo de telha, cor da telha, material utilizado na sustentação do telhado, se há ou não presença de laje ou forro e os materiais utilizados nos mesmos.

Dessa forma a análise do desempenho térmico se faz necessária para auxiliar em uma melhor escolha dos elementos utilizados na construção. De forma que sendo baixo, médio ou alto padrão, possa ser construída uma edificação com temperatura agradável em seu interior independente de temperaturas externas, conseguindo assim atender as condições do cliente e do local da construção. Encontrando através das análises o melhor conjunto vedação e cobertura que atende as necessidades térmicas desejadas.

Com isso, o trabalho objetiva analisar o desempenho térmico de sistemas de vedação e cobertura de uma edificação elaborada especificamente para o estudo, com base em uma edificação de classe média baixa. Será utilizado o software EnergyPlus, que a NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), sugere como auxílio caso essa análise seja feita em forma de simulação computacional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O estudo do desempenho térmico de uma edificação se faz bastante necessário após o entendimento do que é conforto térmico, o que contribui ou prejudica esse conforto e como ele pode interferir na realização de atividades e permanência de pessoas dentro de um ambiente.

2.1 Conforto Térmico

O ser humano pode ser considerado um animal homeotérmico (aquele cuja temperatura corporal interna permanece constante, independentemente das variações da temperatura do meio externo), seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante, da ordem de 37°C, com limites muito estreitos, entre 36,1°C e 37,2°C. Em estado de enfermidade, o limite inferior para sobrevivência é de 32°C e o superior de 42°C (FROTA e SCHIFFER, 2007).

A energia térmica produzida pelo organismo humano é resultado de reações químicas internas, sendo a mais importante, a combinação do carbono com o oxigênio. O carbono é introduzido no organismo sob a forma de alimentos e o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é denominado metabolismo. Através do metabolismo, o organismo adquire energia, onde cerca de 20% dessa é transformada em potencialidade de trabalho (FROTA e SCHIFFER, 2007).

Segundo Pimenta *et al.* (2015), o conjunto de mecanismos que permite estabilizar a temperatura corporal com as variações térmicas do meio externo é chamado de termorregulação. Esse processo é essencial para os seres vivos, tanto para integridade do organismo, quanto para a manutenção da taxa do metabolismo. Frota e Schiffer (2007) dizem que, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, a termorregulação representa um esforço extra, conseqüentemente, uma queda de potencialidade de trabalho.

O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação (FROTA e SCHIFFER, 2007).

Conforme Pimenta *et al.* (2015), o conforto térmico é um conceito que não pode ser definido com exatidão, pois em um mesmo ambiente com várias pessoas de sexo, idade, vestuário e atividades diferentes, é difícil conceber um ambiente agradável a todos. Na NBR 15220 Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2003), conforto térmico é definido como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

A ISO 7730 Ergonomia do ambiente térmico (2005), considera que um espaço apresenta condições de conforto térmico quando não mais que 10% dos seus ocupantes, se sintam desconfortáveis.

2.1.1 Análise dos parâmetros

Segundo a ISO 7730 (2005), o calor produzido no corpo é determinado pelo nível de atividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo. Este calor pode ser trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação. Os parâmetros mais importantes do conforto térmico subdividem-se em duas classes:

- Parâmetros individuais:
 - Atividade;
 - Vestuário;
- Parâmetros ambientais:
 - Temperatura do ar;
 - Umidade do ar;
 - Velocidade do ar;
 - Temperatura média radiante;

Para uma mesma atividade, o metabolismo, taxa de utilização de energia pelo corpo, pode variar, principalmente com a área corporal, definido pela unidade W/m^2 . Uma forma de simplificar a análise do metabolismo, foi a definição da unidade met, tendo como referência uma pessoa sentada a descansar, $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W}/m^2$. Na Tabela 1, pode-se encontrar os valores de metabolismo para várias atividades definidos pela ISO 7730 (2005).

Tabela 1 - Valores de metabolismo para várias atividades. Fonte: ISO 7730 (2005).

TIPO DE ATIVIDADE	METABOLISMO (W/pessoa)	METABOLISMO (met)	METABOLISMO (W/m^2)
Deitado	85	0,8	47
Sentado a descansar	104	1	58
Atividade sedentária	126	1,2	70
De pé, atividade leve	167	1,6	93
De pé, atividade média	210	2	117
Grande atividade	315	3	175

Assim como na análise do metabolismo, o vestuário apresenta unidade própria, o clo, que corresponde à resistência térmica de 0,155 m²K/W. Na Tabela 2, pode-se encontrar a resistência térmica do vestuário segundo a ISO 7730 (2005).

Tabela 2 - Resistência térmica do vestuário. Fonte: ISO 7730 (2005)

VESTUÁRIO	RESISTÊNCIA TÉRMICA	
	(clo)	(m ² K/W)
Nu	0	0
Calções	0,1	0,016
Vestuário tropical	0,3	0,047
Vestuário leve de verão	0,5	0,078
Vestuário de trabalho	0,7	0,124
Vestuário de inverno para ambiente interno	1	0,155
Fato completo	1,5	0,233

Quando a temperatura do ar for maior que a temperatura da pele, o corpo ganha calor do ambiente, quando a temperatura do ar for menor que a temperatura da pele, o corpo perde calor para o ambiente. A umidade do ar varia com a temperatura do ar e a umidade influencia na evaporação, a baixa umidade do ar permite que o ar seco absorva de uma forma mais rápida a umidade da pele, conseqüentemente remove o calor do corpo. Quanto maior a velocidade do ar, mais rápido é a retirada da umidade do corpo (CARVALHO, 2018).

2.2 Comportamento Térmico da Construção

Arantes (2012) define o conforto na arquitetura como a combinação de aspectos dimensionais (espaços para as atividades), funcionais (permanência, convivência), psicológicos (reconhecimento, adaptação) e fisiológicos (visuais, higiênicos, acústicos e térmicos).

A condutibilidade térmica depende de densidade, natureza química e umidade do material e é a propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução, já a resistência térmica é o oposto da condutibilidade. A utilização de materiais de construção, para conduzir ou criar resistência ao calor é otimizada quando combinadas características de diferentes materiais (ARANTES, 2012).

Elementos como paredes, coberturas, pavimentos, portas e janelas, por exemplo, contribuem para o aumento ou diminuição do conforto térmico dentro de uma edificação.

Quanto mais baixa for a condutividade térmica e maior a capacidade térmica do material utilizado, menores serão as trocas de calor (PIMENTA *et al*, 2015).

Frota e Schiffer (2007), denominam trocas secas como sendo as trocas de calor que envolvem variações de temperatura, os seus mecanismos são definidos como convecção, radiação e condução. Convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido (líquido ou gasoso), essa troca de calor é ativada pela velocidade do ar. Radiação é a troca de calor entre dois corpos que guardam entre si uma distância qualquer, através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Essa troca é consequência da natureza eletromagnética da energia, que ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos e ocorre mesmo no vácuo. Condução é a troca de calor entre dois corpos que se tocam, ou em um mesmo corpo com partes em temperaturas diferentes.

É fundamental a previsão da carga térmica a ser gerada no interior de uma edificação, sempre em função das exigências funcionais e humanas, para os diferentes tipos de clima (FROTA e SCHIFFER, 2007). As fontes geradoras de carga térmica no interior de uma edificação podem ser classificadas como:

- Presença humana;
- Sistema de iluminação artificial;
- Motores e equipamentos;
- Processos industriais;
- Calor solar.

A ventilação natural é o deslocamento do ar no interior da edificação através de aberturas, umas funcionando como entrada e outras como saída, causado pela diferença de pressão do ar entre os ambientes internos e externos. A renovação do ar dos ambientes proporciona benefícios como a desconcentração local de vapores, fumaças, poeiras, poluentes e a dissipação de calor, funcionando como um dos meios de controle térmico do ambiente (FROTA e SCHIFFER, 2007).

A função do isolamento térmico é diminuir as trocas de calor entre o interior e o exterior de uma edificação. Para um material ou estruturas serem bons isolantes térmicos eles devem ser caracterizados por uma alta resistência térmica, dificultando a troca de calor entre dois meios que, em condições normais, rapidamente igualariam suas temperaturas. O melhor isolante térmico é o vácuo, porém é extremamente difícil a criação do mesmo em construções por conta dos materiais porosos ou fibrosos (PIMENTA *et al*, 2015).

2.2.1 Influência do sistema de cobertura no conforto térmico de edificações

Os sistemas de cobertura exercem funções importantes nas edificações, desde a contribuição para preservação da saúde dos usuários, até a própria proteção do corpo da construção, interferindo diretamente na durabilidade dos demais elementos da edificação NBR 15575 - 5 (ABNT, 2013).

Conforme NBR 15575 - 5 (ABNT, 2013), o sistema de cobertura é definido como conjunto de elementos/componentes dispostos no topo da construção, com funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas ou elementos da edificação, e contribuir positivamente para o conforto termo acústico da edificação. Sendo a parte da edificação mais exposta à radiação solar de casas térreas e último pavimento de sobrados ou prédios, ele exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes, influenciando diretamente no conforto térmico dos usuários.

2.2.2 Influência do sistema de vedação no conforto térmico de edificações

Segundo a NBR 15575 - 4 (ABNT, 2013), sistema de vedação vertical interno e externo são as partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas.

Mesmo não tendo a função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas, ou sofrer as ações decorrentes das deformações das estruturas. Também podem interagir com demais componentes como, esquadrias, coberturas, pisos, instalações. Têm como função ainda, isolamento térmica e acústica, estanqueidade à água, fixação de peças suspensas, etc. Podem ainda assumir função estrutural, obedecendo a NBR 15575 - 2 (ABNT, 2013).

Arantes (2012), diz que a sensação do conforto térmico pode ser influenciada através do clima e as estações do ano. O clima interno da edificação pode ser controlado, o externo não, devendo assim através da envolvente da edificação, tentar minimizar a interação do ambiente externo com o interno.

Em fechamentos opacos, a transmissão de calor ocorre quando há uma diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna. O fluxo de calor sempre se dá da superfície mais quente para a superfície mais fria (ARANTES, 2012).

Conforme a Figura 1, Frota e Schiffer (2007) apresenta um esquema com os mecanismos de trocas de calor no fechamento do tipo opaco.

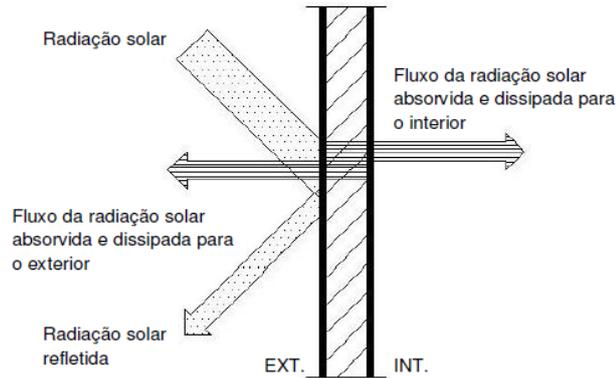


Figura 1 - Trocas de calor através de paredes opacas. Fonte: (FROTA e SCHIFFER, 2007)

As principais trocas térmicas de uma edificação ocorrem em fechamentos transparentes ou translúcidos, como no caso de janelas e claraboias. As trocas podem ocorrer por condução ou convecção, como ocorre nos fechamentos opacos, ou, por radiação, quando uma parcela da radiação solar pode ser transmitida diretamente para o interior do ambiente, dependendo das características do vidro. A orientação e o tamanho das aberturas com esse tipo de fechamento, contribuem para o aumento ou diminuição da incidência de raios solares no ambiente (ARANTES, 2012).

Conforme a Figura 2, Frota e Schiffer (2007) apresenta um esquema com os mecanismos de trocas de calor no fechamento do tipo transparente ou translúcido.

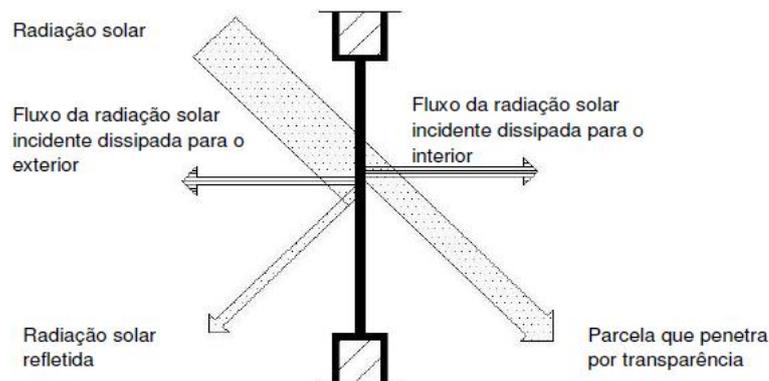


Figura 2 - Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas. Fonte: (FROTA e SCHIFFER, 2007)

2.3 Simulações Computacionais para Determinação do Conforto Térmico de Edificações

A NBR 15575 - 1 (ABNT, 2013) permite a realização de simulação computacional para a determinação do comportamento térmico de uma edificação, a mesma recomenda o emprego do programa EnergyPlus.

Para a realização das simulações computacionais, devem ser utilizados como referência dados apresentados na NBR 15575 (ABNT, 2013) relativos à localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno NBR 15575 – 1 (ABNT, 2013).

Na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação em análise, recomenda-se utilizar dados climáticos de uma cidade próxima com características climáticas semelhantes, na mesma zona bioclimática brasileira. Se o clima na cidade analisada não for semelhante ao de nenhuma outra que tenha dados disponíveis, recomenda-se evitar o método da simulação computacional NBR 15575 – 1 (ABNT, 2013).

EnergyPlus é um programa computacional, criado a partir dos programas BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2 e distribuído pelo DOE, desenvolvido para a simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. O programa apresenta algumas características importantes para o trabalho que o colocam à frente de diversos programas de simulações termo energéticas, como (MELO *et al*, 2009):

- “Intervalos de tempos definidos pelo usuário, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variável para a interação entre a zona térmica e o sistema HVAC (automaticamente variável para assegurar uma solução estável);
- Arquivos de entrada e saída climática que incluem condições ambientais horárias ou subhorárias (até um quarto de hora) e relatórios padrões reajustáveis pelo usuário;
- Condução de calor transiente através dos elementos do prédio como paredes, tetos, pisos, etc, usando funções de transferência, modelo de conforto térmico baseado na atividade, temperatura de bulbo seco interna, umidade;”

É um programa de simulação de energia de todo o edifício, usado para modelar tanto o consumo de energia, quanto o uso da água. É um programa baseado em console que lê a entrada e grava a saída em arquivos de texto, vem com alguns utilitário como o IDF-Editor, para criar arquivos de entrada usando uma simples interface de planilha, EP-Lauch, para gerenciar arquivos de entrada e saída e realizar simulações de lote, e EP-Compare, para comparar graficamente os resultados de duas ou mais simulações (ENERGYPLUS).

O software é uma ferramenta para a modelagem de energia para a avaliação do desempenho do edifício, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, que permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar seu consumo de energia (OTEC).

O desenvolvimento do programa é financiado pelo Escritório de Tecnologias de Construção (BTO) do Departamento de Energia dos EUA (DOE).

Conforme Wallauer (2003), três componentes básicos compõe o bloco principal do programa, um gerenciador ou controlador de simulação, um módulo de simulação do balanço de calor e massa e um módulo de simulação dos sistemas da edificação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi direcionado para a cidade de Rio Verde - Goiás, sendo coletado dados meteorológicos da cidade disponibilizados pelo próprio software EnergyPlus.

Durante a análise computacional, foi alterado no programa EnergyPlus o tipo do sistema de cobertura, telha de fibrocimento com 7 mm de espessura e telha cerâmica com 1 cm de espessura, em ambos os casos foi considerado que existia uma laje maciça de concreto de 20 cm de espessura, e o tipo de vedação da edificação, tijolo de 8 furos quadrados assentado na maior e na menor direção com 2,5 cm de emboço, e tijolo maciço aparente assentado na menor direção. Sendo todos os valores fornecidos no anexo D da NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2003).

Para a definição da melhor combinação cobertura/vedação, com base no desempenho térmico de cada material analisado, foram feitos 6 tipos de combinações utilizando materiais e dados citados no anexo D da NBR 15220 (ABNT, 2003).

3.1 Caracterização da Edificação

Como pode ser visto na Figura 3, a edificação analisada possui 6 cômodos internos, sendo banheiro, cozinha, três quartos e sala. A área externa possui área de serviço coberta e espaço de garagem descoberta.

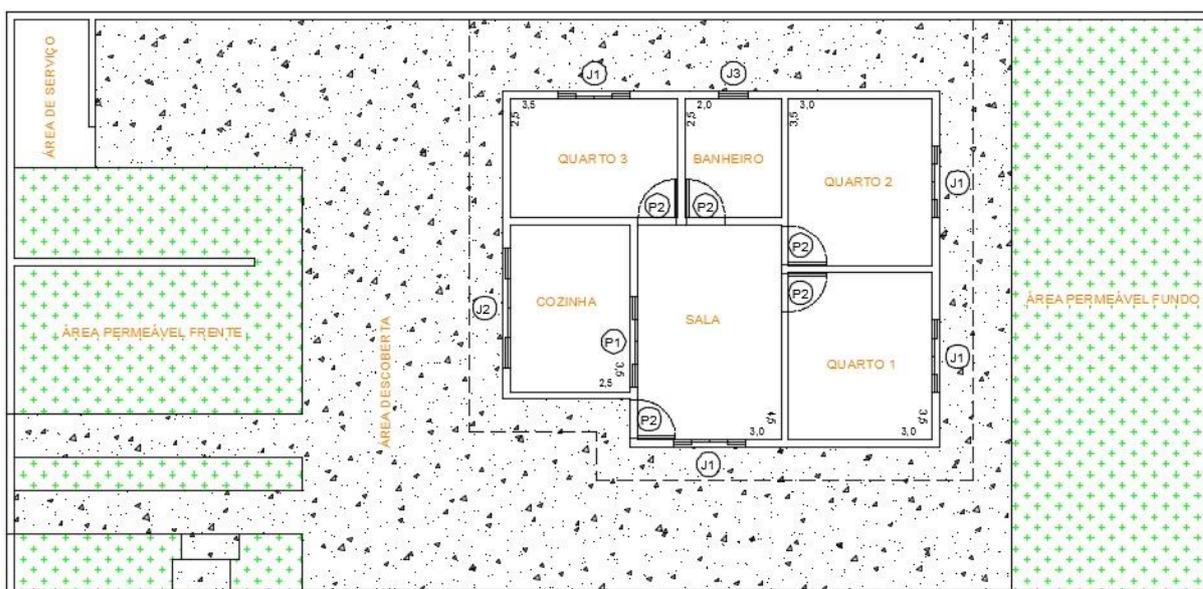


Figura 3 - Planta baixa edificação. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

As dimensões e características das esquadrias da residência podem ser observadas da Tabela 3.

Tabela 3 - Esquadrias. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Esquadria	Medidas (m)	Descrição	Material
Porta 1	1,9 x 2,1	Correr	Vidro
Porta 2	0,8 x 2,1	Abrir	Madeira
Janela 1	1,5 x 1,2 / 0,9	Correr	Vidro
Janela 2	2,5 x 1,2 / 0,9	Correr	Vidro
Janela 3	0,6 x 0,4 / 1,7	Basculante	Vidro

Abaixo está apresentado um memorial descritivo dos cômodos da edificação.

3.1.1 Cômodos

Área de serviço

- Área: 4,93 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com porcelanato acetinado.
- Teto: sem laje, somente estrutura de madeira e telhas.

Banheiro

- Área: 5,00 m².
- Nível: -0,05 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com porcelanato acetinado.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

Cozinha

- Área: 8,75 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com porcelanato acetinado.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

Quarto 1

- Área: 10,50 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.

- Paredes: alvenaria com pintura acrílica fosca.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

Quarto 2

- Área: 10,50 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com pintura acrílica fosca.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

Quarto 3

- Área: 8,75 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com pintura acrílica fosca.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

Sala

- Área: 13,50 m².
- Nível: 0 m.
- Piso: porcelanato acetinado.
- Paredes: alvenaria com pintura acrílica fosca.
- Teto: laje de concreto de 20 cm, estrutura de madeira e telhas.

3.2 Caracterização da Localização

A residência analisada teve como base uma edificação situada na rua 07 esquina com a rua Wolney da Costa Martins, residencial Dona Gercina, no município de Rio Verde – Goiás como pode ser visto na Figura 4. A localização tem como suas coordenadas 17°46'21" S e 50°54'22" W.

Na rua 07, o fluxo de carro é pequeno, existe fluxo somente dos moradores que vão para as casas, pois a rua não tem saída e não possui pontos de comércio. Já o trânsito na rua Wolney da Costa Martins é considerado intenso, pois trata-se da rua principal do bairro e faz a divisa entre o residencial Dona Gercina com os bairros Veneza, São João, São Joaquim e Maranata.

Na rua Wolney da Costa Martins, além de edificações residenciais, estão presentes outros tipos como açougue, pet shop, posto de combustível, supermercado, farmácia, padaria, salão de

beleza, barbearia, bebida gelada, igreja, pizzaria, restaurante, ferragista, loja de roupa, lanchonete, oficina, borracharia, salas funerárias, IML e o maior cemitério da cidade de Rio Verde – GO. O residencial Dona Gercina fica na região nordeste de Rio Verde – GO.

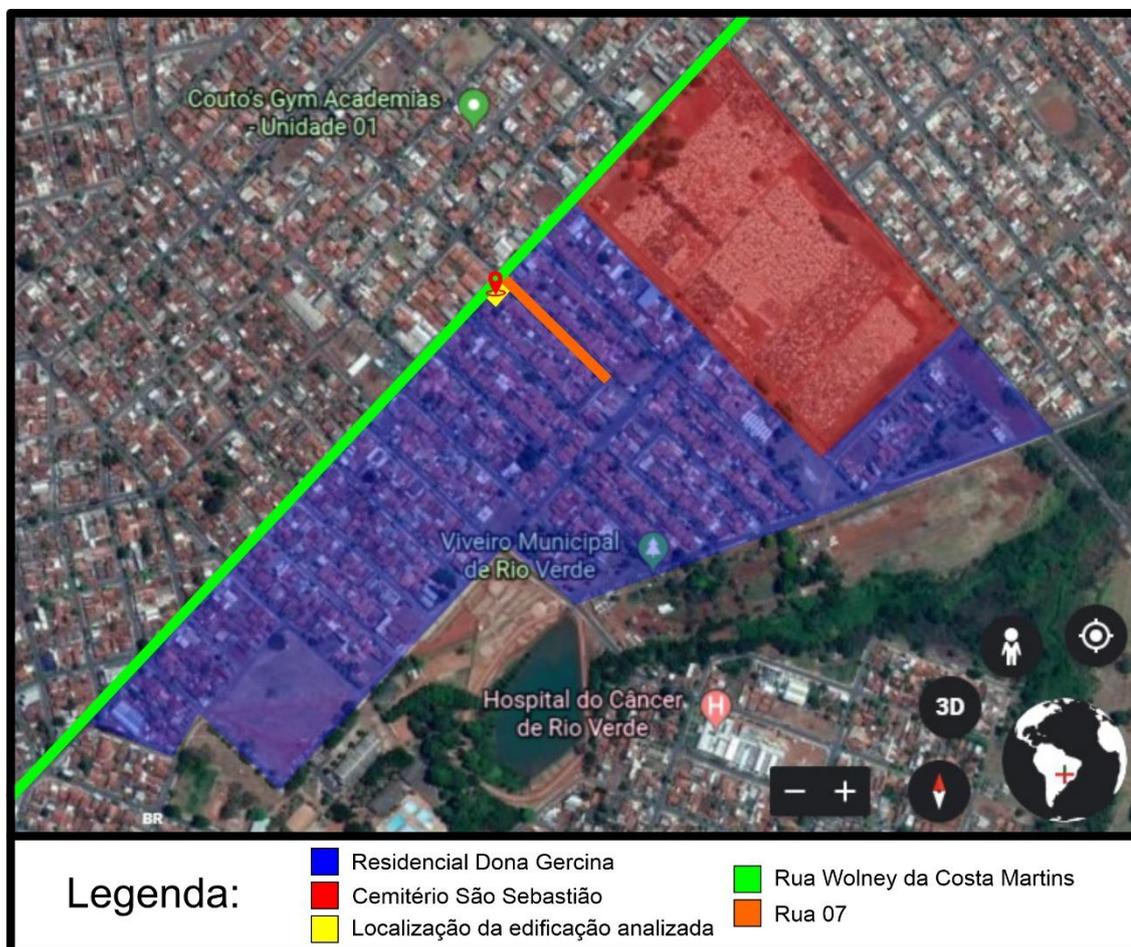


Figura 4 - Localização. Fonte: Google Earth com adaptação do autor (2020).

A Figura 4 apresenta a localização do bairro, da edificação e ruas especificadas na legenda.

3.3 Análise Computacional

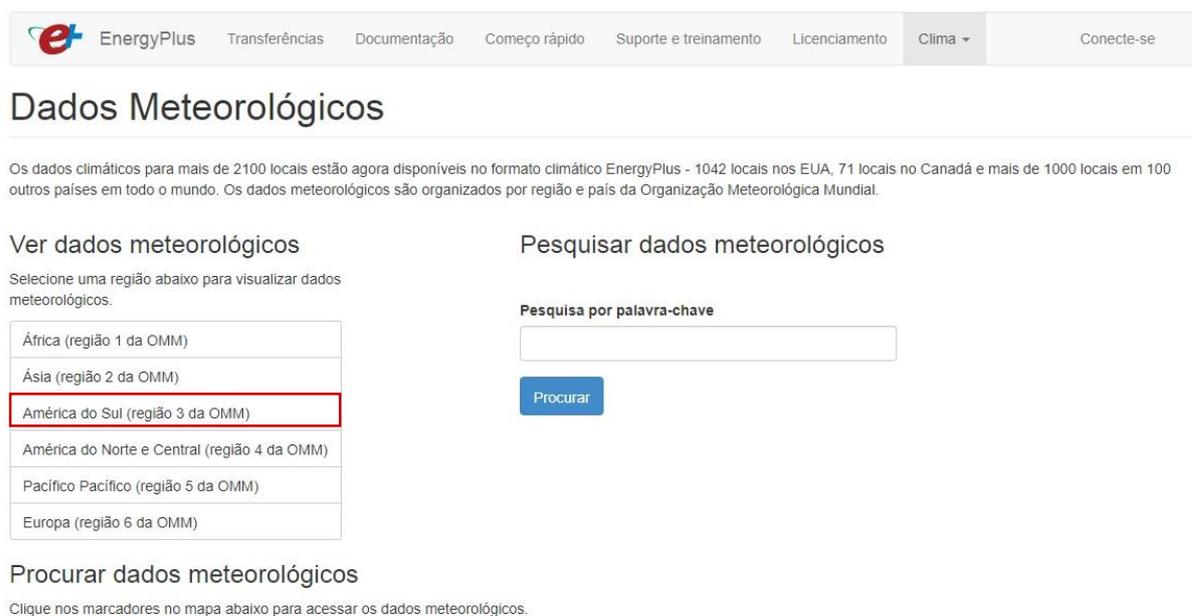
Como a interface do software EnergyPlus é de difícil operação, a atualização de suas novas versões nos permite fazer a análise computacional com a ajuda de dois programas mais básicos além do EnergyPlus, o SketchUp e a extensão Openstudio.

3.3.1 EnergyPlus

É um programa de análise de energia e simulação de carga térmica com base na descrição do usuário quanto a geometria, materiais de construção, uso e sistemas de uma construção. O

mesmo roda nos sistemas operacionais Windows, Mac OS X e Linux. O DOE lança atualizações para o software duas vezes por ano, sua última versão disponível é a 9.2.0, lançada em 27 de setembro de 2019.

Os dados climáticos utilizados na análise foram obtidos pela biblioteca própria do site do programa, como pode ser visto nas Figura 5, 6 e 7.



The screenshot shows the EnergyPlus website interface. At the top, there is a navigation bar with the EnergyPlus logo and several menu items: Transferências, Documentação, Começo rápido, Suporte e treinamento, Licenciamento, Clima (with a dropdown arrow), and Conecte-se. Below the navigation bar is the main heading 'Dados Meteorológicos'. A sub-heading reads: 'Os dados climáticos para mais de 2100 locais estão agora disponíveis no formato climático EnergyPlus - 1042 locais nos EUA, 71 locais no Canadá e mais de 1000 locais em 100 outros países em todo o mundo. Os dados meteorológicos são organizados por região e país da Organização Meteorológica Mundial.' There are two main sections: 'Ver dados meteorológicos' and 'Pesquisar dados meteorológicos'. Under 'Ver dados meteorológicos', there is a prompt 'Selecione uma região abaixo para visualizar dados meteorológicos.' followed by a list of regions: África (região 1 da OMM), Ásia (região 2 da OMM), América do Sul (região 3 da OMM), América do Norte e Central (região 4 da OMM), Pacífico Pacífico (região 5 da OMM), and Europa (região 6 da OMM). The 'América do Sul (região 3 da OMM)' option is highlighted with a red border. Under 'Pesquisar dados meteorológicos', there is a search box labeled 'Pesquisa por palavra-chave' and a blue 'Procurar' button. Below the search section is another heading 'Procurar dados meteorológicos' with a prompt 'Clique nos marcadores no mapa abaixo para acessar os dados meteorológicos.'

Figura 5 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 1. Fonte: EnergyPlus com adaptação do autor (2020).



The screenshot shows the EnergyPlus website interface for the 'Dados climáticos por região' section. At the top, there is a navigation bar with the EnergyPlus logo and several menu items: Transferências, Documentação, Começo rápido, Suporte e treinamento, Licenciamento, Clima, and Conecte-se. Below the navigation bar is the main heading 'Dados climáticos por região'. A sub-heading reads: 'Todas as regiões - Região 3 da OMM na América do Sul'. Below the sub-heading is a prompt 'Selecione um país.' followed by a list of countries: ARG - Argentina, BOL - Bolívia, BRA - Brasil, CHL - Chile, COL - Colômbia, ECU - Equador, PER - Peru, PRY - Paraguai, URY - Uruguai, and VEN - Venezuela. The 'BRA - Brasil' option is highlighted with a red border.

Figura 6 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 2. Fonte: EnergyPlus com adaptação do autor (2020).

Jatai 867520 (INMET)
Luziânia 867360 (INMET)
Mineiros 867510 (INMET)
Monte Alegre de Goiás 866700 (INMET)
Morrinhos 867550 (INMET)
NIQUELÂNDIA 866900 (INMET)
Paraúna 867320 (INMET)
Pires do Rio 867560 (INMET)
Posse 866920 (INMET)
Rio Verde 867530 (INMET)
São Simão 867730 (INMET)
Jacareacanga 826400 (SWERA)
Alto Paraíba 829700 (INMET)
Bacabal 817900 (INMET)
Balsas 819030 (INMET)
Barra do Corda 818.250 (INMET)
Buritcupu 817880 (INMET)
Carolina 819.010 (INMET)

Figura 7 - Obtenção dos dados meteorológicos para análise, passo 3. Fonte: EnergyPlus com adaptação do autor (2020).

Após a obtenção dos dados climáticos do EnergyPlus, começamos a modelagem no sketchup.

3.3.2 SketchUp

Programa de modelamento 3D desenvolvido pela At Last Software e adquirido pela Google, anteriormente era totalmente gratuito, posteriormente foi vendido e adquirido pela empresa Trimble, e as versões comerciais são pagas. Uma versão demo pode ser baixada para testes por 30 dias, após esse prazo a versão perde algumas funcionalidades mas pode ser utilizada para as simulações energéticas.

Com a ajuda das ferramentas do SketchUp foi modelado em 3D a edificação a ser analisada com base nos modelos obtidos através da extensão openstudio, diferentemente da modelagem própria do sketchup, os materiais não possuem espessura e podem ser observados nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

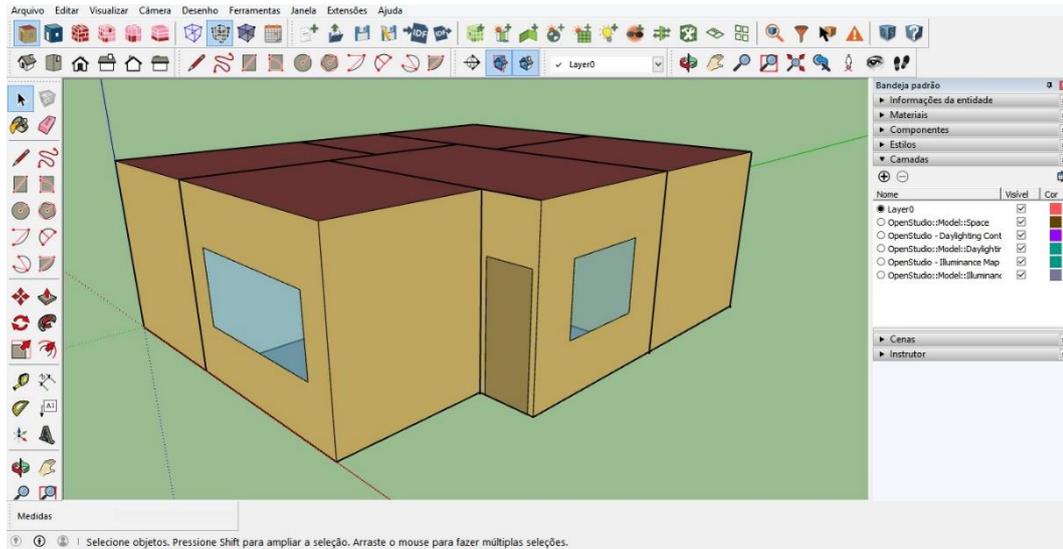


Figura 8 - Visualização 3D da edificação, parte 1. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020).

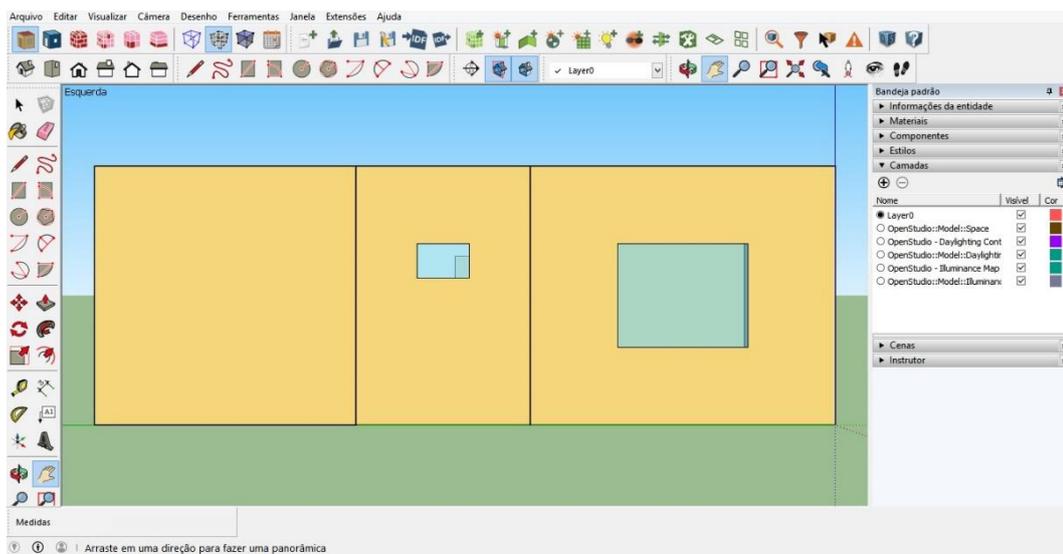


Figura 9 - Visualização 3D da edificação, parte 2. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

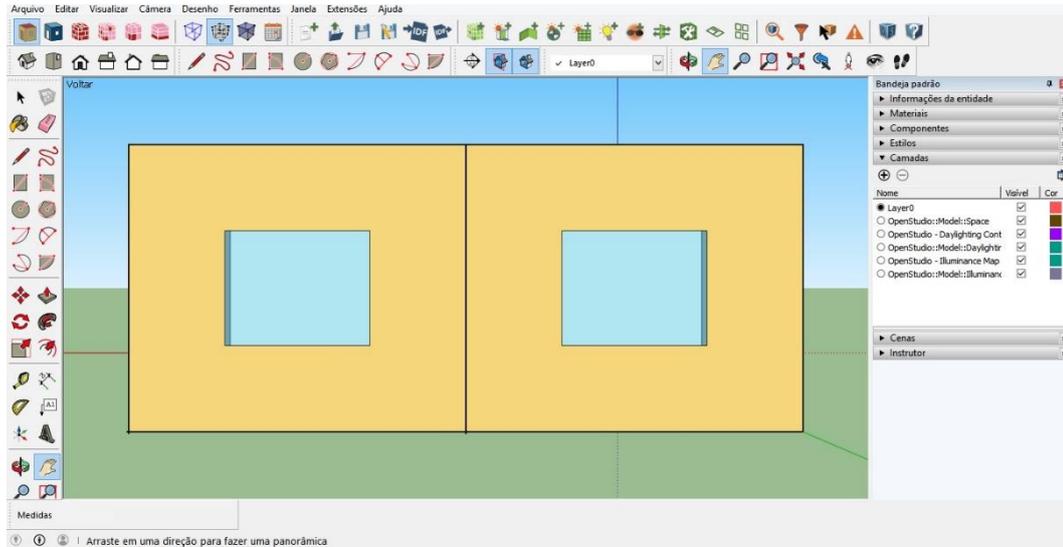


Figura 10 - Visualização 3D da edificação, parte 3. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

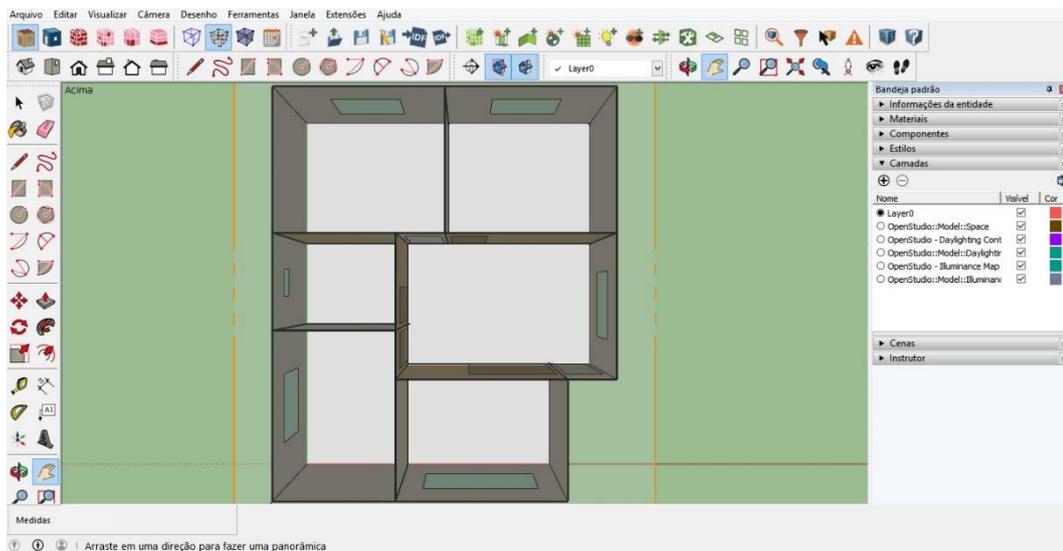


Figura 11 - Visualização 3D da edificação, parte 4. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Com a edificação modelada, começamos a configurar os dados na extensão openstudio.

3.3.3 Openstudio

São ferramentas multiplataformas fornecidas pela National Renewable Energy Laboratory (NREL) que permite modelar uma edificação utilizando o EnergyPlus, sketchup e outros programas de simulação. É um plug-in de extensão do programa sketchup, que cria a geometria necessária para o EnergyPlus, sua última versão disponível é a 2.9.0, lançada em 11 de setembro de 2019.

Após a modelagem 3D, foi necessário criar uma zona térmica para a edificação conforme a Figura 12, utilizando as ferramentas do Openstudio. Como o software EnergyPlus e a extensão Openstudio foi criado e é mais utilizado nos EUA, as zonas térmicas são com base nas do país norte-americano, sendo assim foi preciso procurar uma zona que mais se aproxima com a do Brasil, por isso, a faixa de zona térmica utilizada no Brasil é a de 1-3.

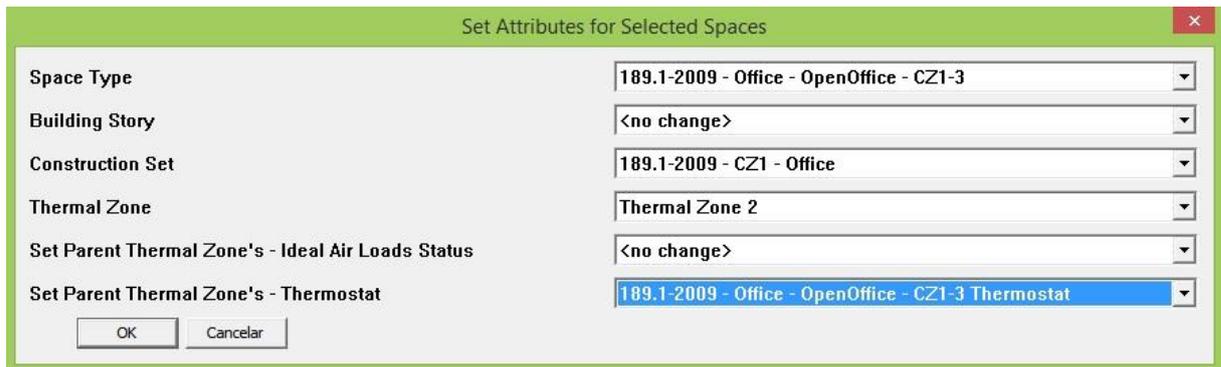


Figura 12 - Atribuição zona térmica na edificação. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Para a análise foram utilizados dados em relação ao tipo de cobertura e de vedação obtidos no Anexo D da NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações. Nas Figura 13 e Figura 14 contém dados quanto a densidade, condutividade e calor específico dos materiais utilizados, concreto na vedação e, cerâmica e fibrocimento na cobertura.

	Densidade	Condutividade	Calor específico
Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

Figura 13 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados para sistemas de vedação. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003)

	Densidade	Condutividade	Calor específico
Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Figura 14 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados para sistemas de cobertura. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003)

Os materiais utilizados e suas características também foram retirados da NBR 15220. Nas Figura 15, Figura 16 e Figura 17 contém especificações utilizadas nos materiais de vedação, parede de tijolo maciço aparente com espessura total de 10 cm, parede de tijolo de 8 furos quadrados, assentados na menor e maior dimensão com espessura total de 14 cm e 24 cm respectivamente.

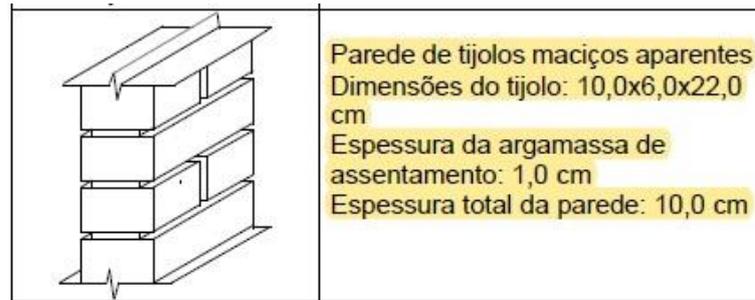


Figura 15 - Especificações parede de tijolo maciço aparente. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003).

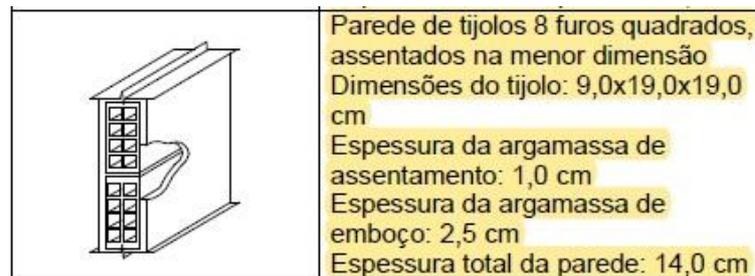


Figura 16 - Especificações parede de tijolo 8 furos quadrados, assentados na menor direção. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003)

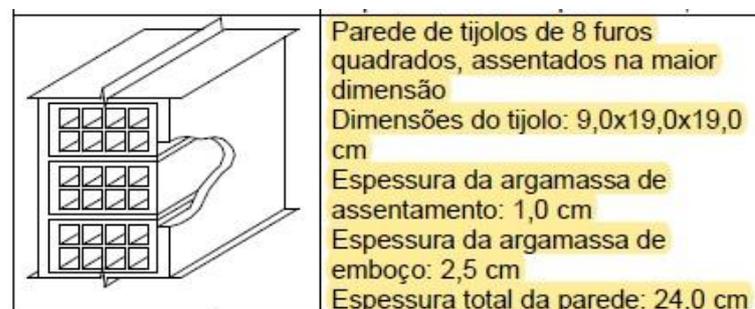


Figura 17 - Especificações parede de tijolo 8 furos quadrados, assentados na maior direção. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003)

Na Figura 18 contém especificações utilizadas nos materiais de cobertura, telha de barro com 1 cm de espessura e telha de fibrocimento com 0,7 cm de espessura, em ambos os casos, contém laje de concreto de 20 cm.

	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm

Figura 18 - Especificações telha de barro e telha de fibrocimento. Fonte: Anexo D NBR 15220 (2003).

Após a modelagem 3D, coleta dos dados meteorológicos, especificações e dados dos materiais, foi configurado a extensão Openstudio para cada combinação, foram feitas 6 combinações, cada tipo de vedação foi analisado duas vezes utilizando em cada vez um tipo de cobertura. Figura 19 é possível ver a inserção dos dados meteorológicos.

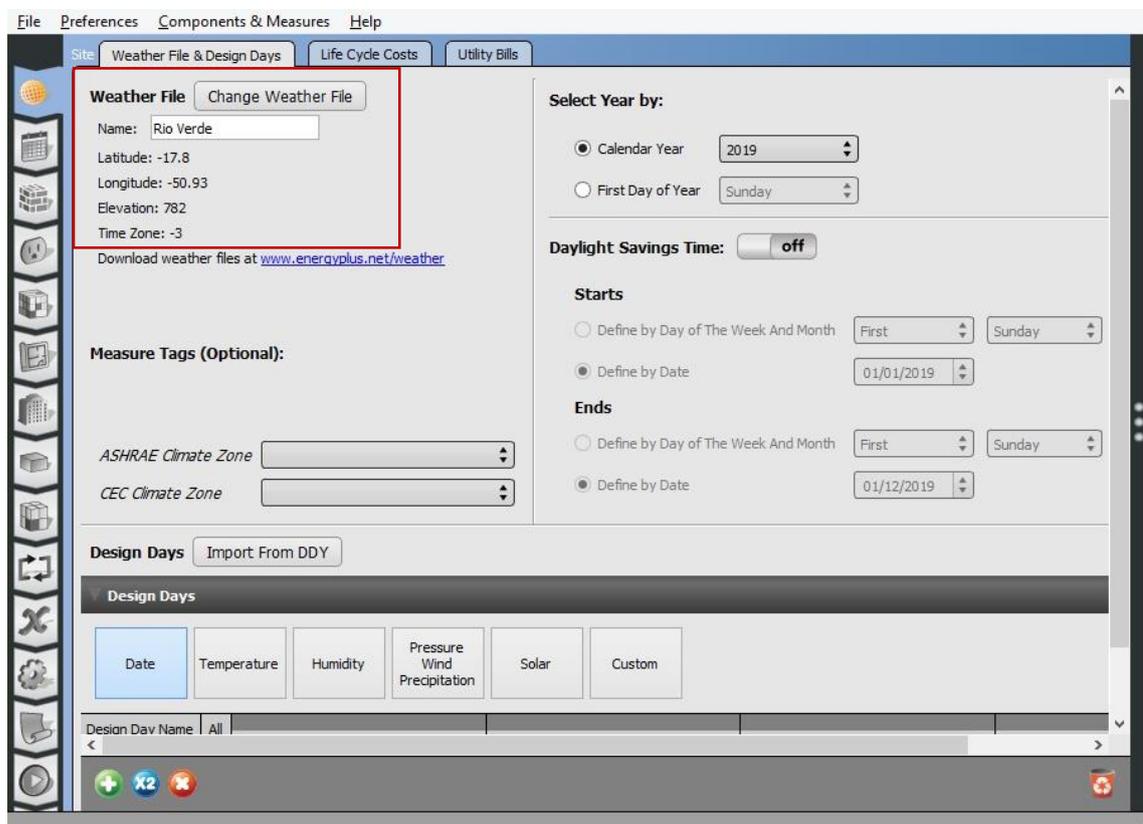


Figura 19 - Inserção dos dados climáticos da cidade de Rio Verde - GO. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020).

Para a simulação de desempenho térmico é necessário adicionar as cargas térmicas, nessa análise foram adicionadas cargas térmicas ideais definidas pelo próprio programa como pode ser visto na Figura 20. Considerar cargas térmicas ideais é um coeficiente de segurança, majorando os resultados.

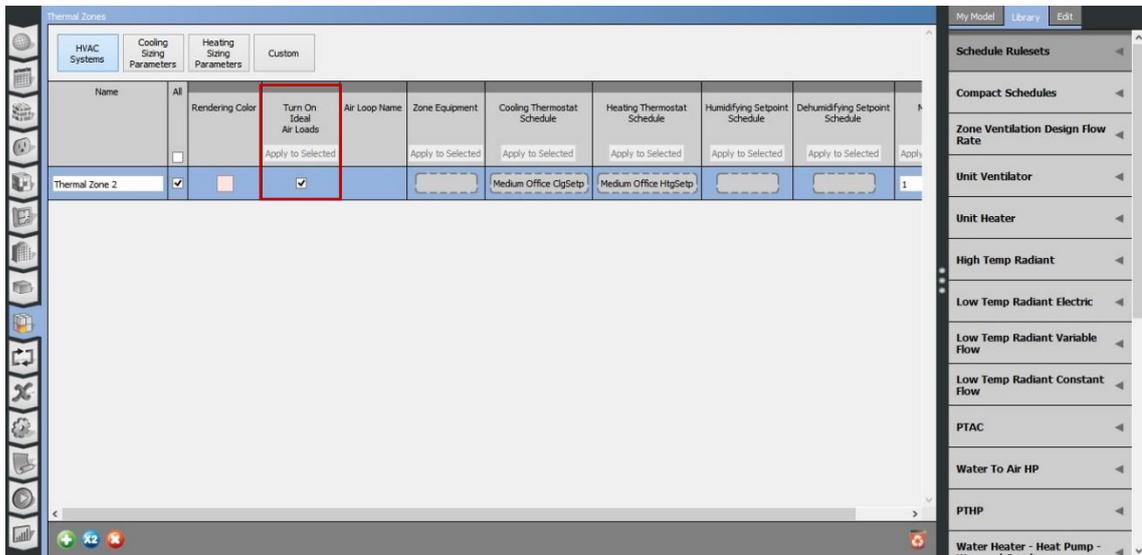


Figura 20 - Atribuição de cargas térmicas ideais para a simulação. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Após a atribuição das cargas térmicas, foi configurado quais resultados queremos obter no final, nesse caso, foi analisado a relação da temperatura nas faces externas e internas da edificação, como mostra a Figura 21.

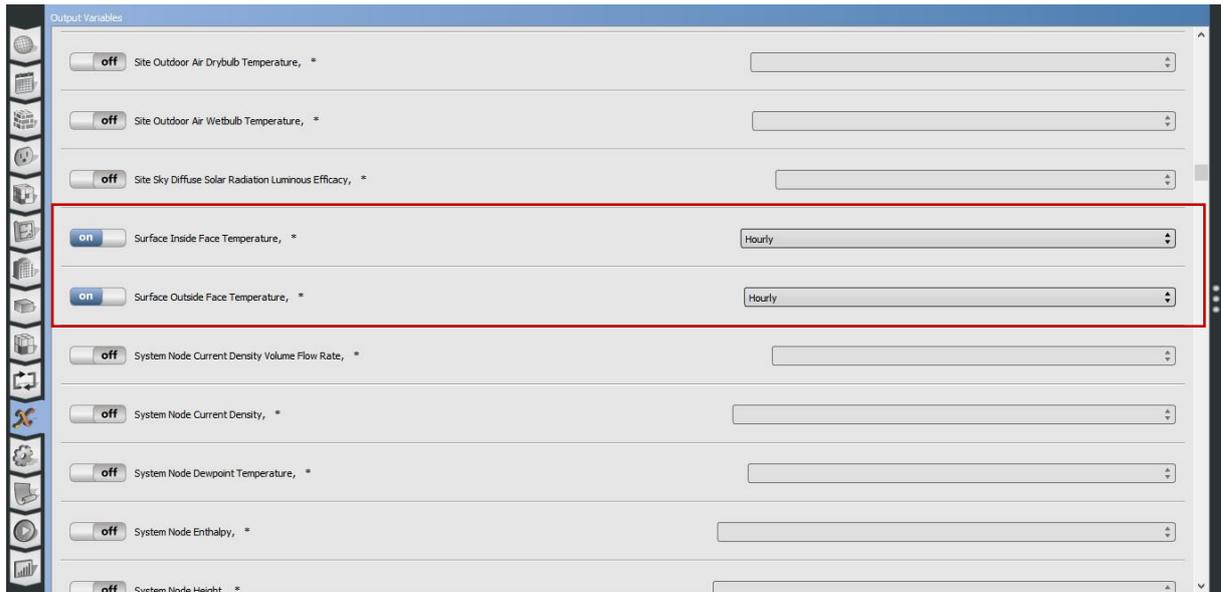


Figura 21 - Configurando o resultado esperado. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Depois dessas definições, foi configurado os materiais utilizados em cada análise. Em todas as simulações foi inserido a mesma configuração para laje de concreto de 20 cm mostrado na Figura 22, em três análises foi utilizado a configuração da telha de fibrocimento mostrado na Figura 23, nas outras três a configuração da telha cerâmica mostrada na Figura 24.

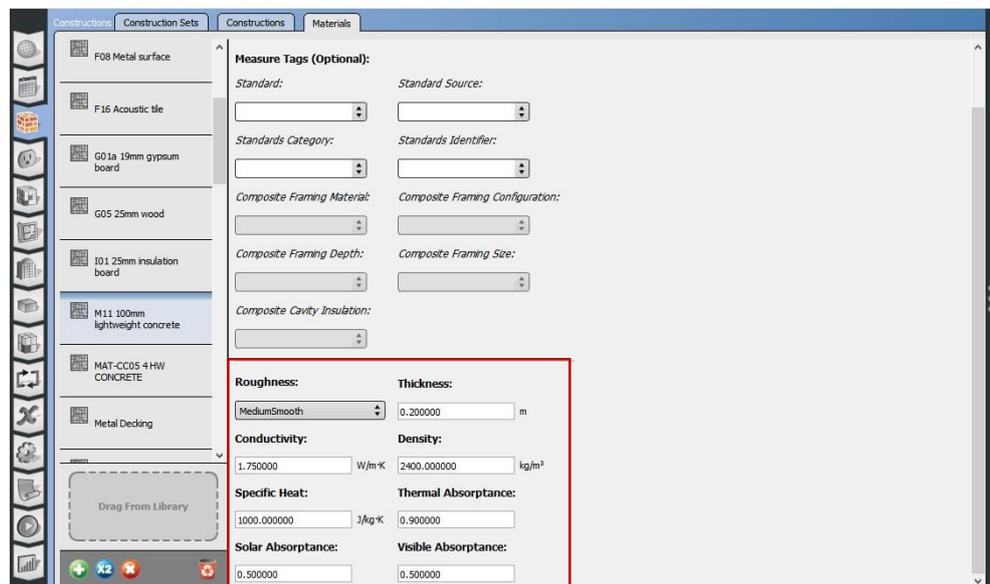


Figura 22 - Configuração laje. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

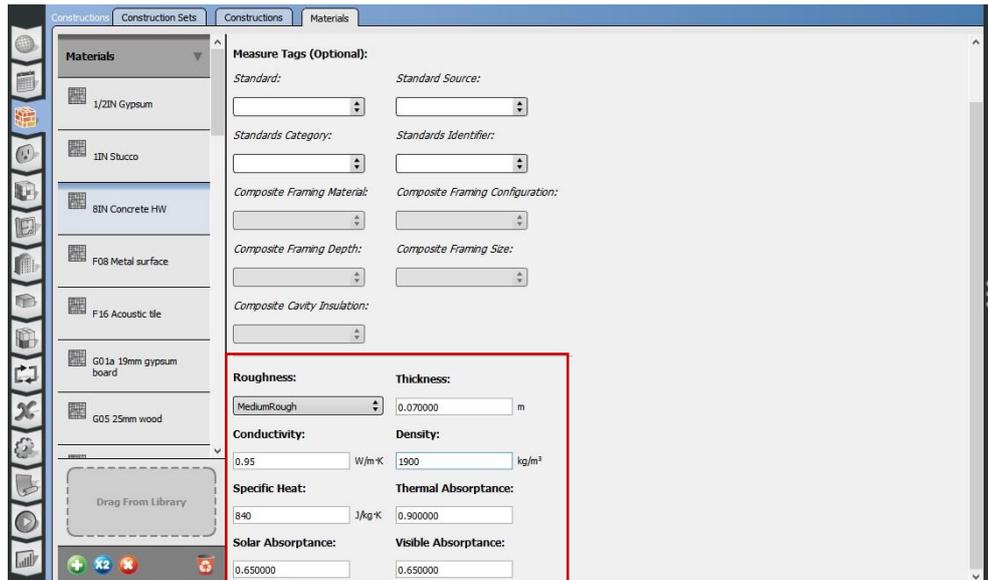


Figura 23 - Configuração telha fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

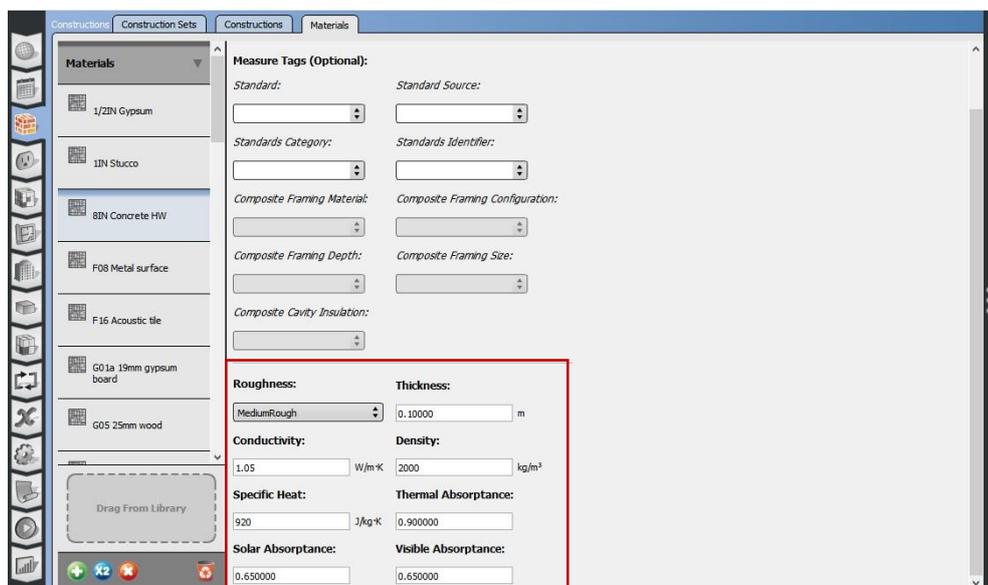


Figura 24 - Configuração telha cerâmica. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Cada material de vedação foi utilizado duas vezes, uma vez com cada tipo de telha. Na Figura 25 podemos ver as configurações da parede de tijolo maciço aparente, na Figura 26 a parede de tijolo de 8 furos quadrados assentado na menor direção, e na Figura 27 a parede de tijolo de 8 furos quadrados assentado na maior direção.

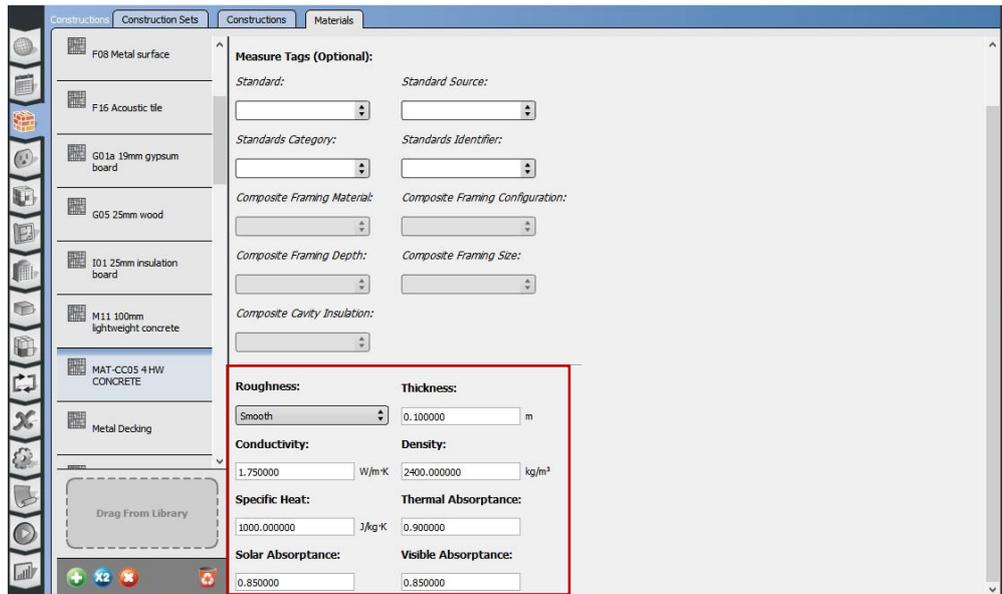


Figura 25 - Configuração parede de tijolo maciço aparente. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

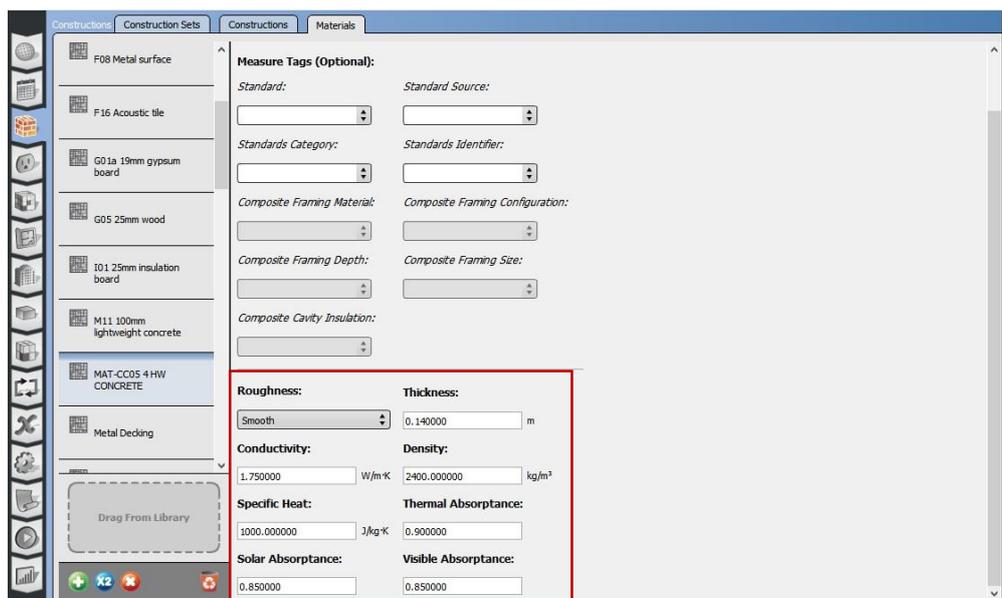


Figura 26 - Configuração parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

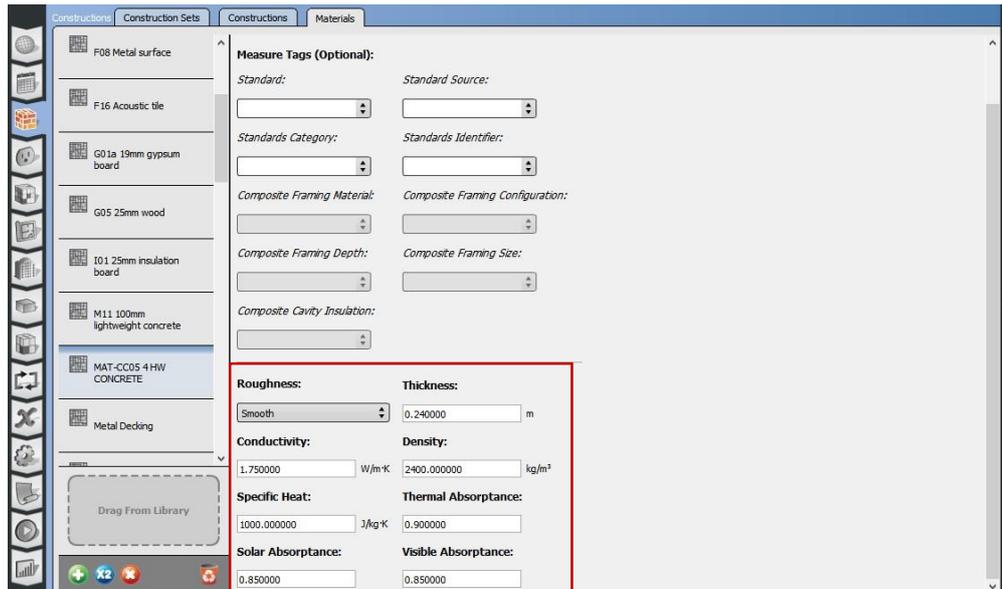


Figura 27 - Configuração parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção.
Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Após todos os dados inseridos iniciasse a simulação, o programa analisa cada informação dada e lança as respostas por meio de uma página que pode ser visto nas Figuras 28 e 29. No final é gerado um arquivo no computador que ao abrir é direcionado para uma página na web com todas as análises feita da combinação, como mostra a Figura 30.

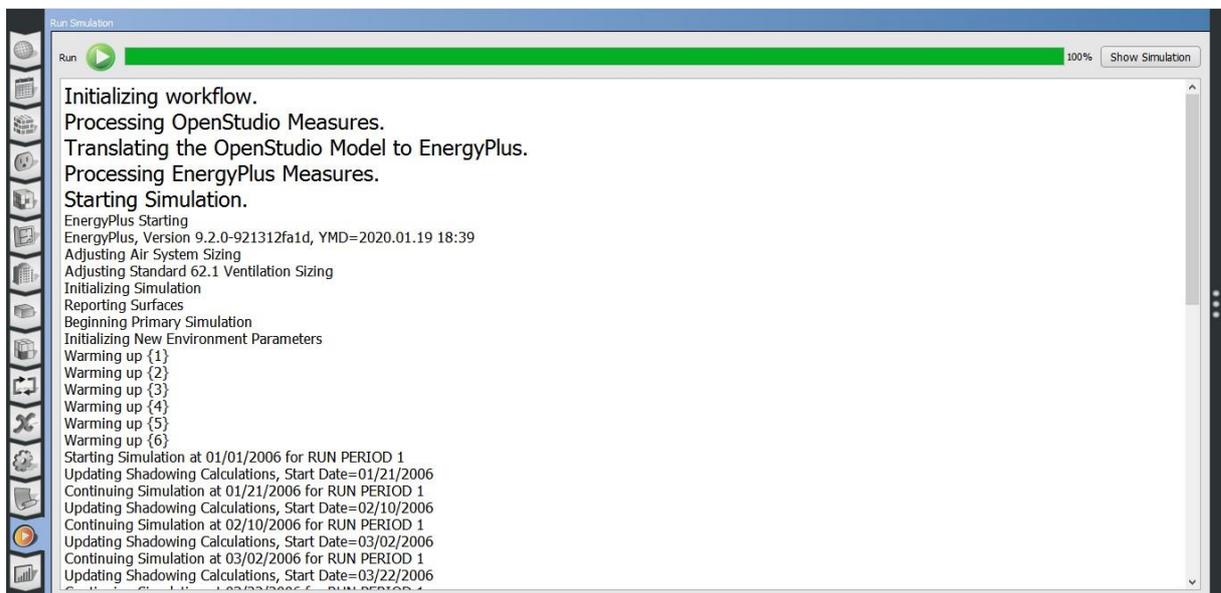


Figura 28 - Interface da simulação, parte 1. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

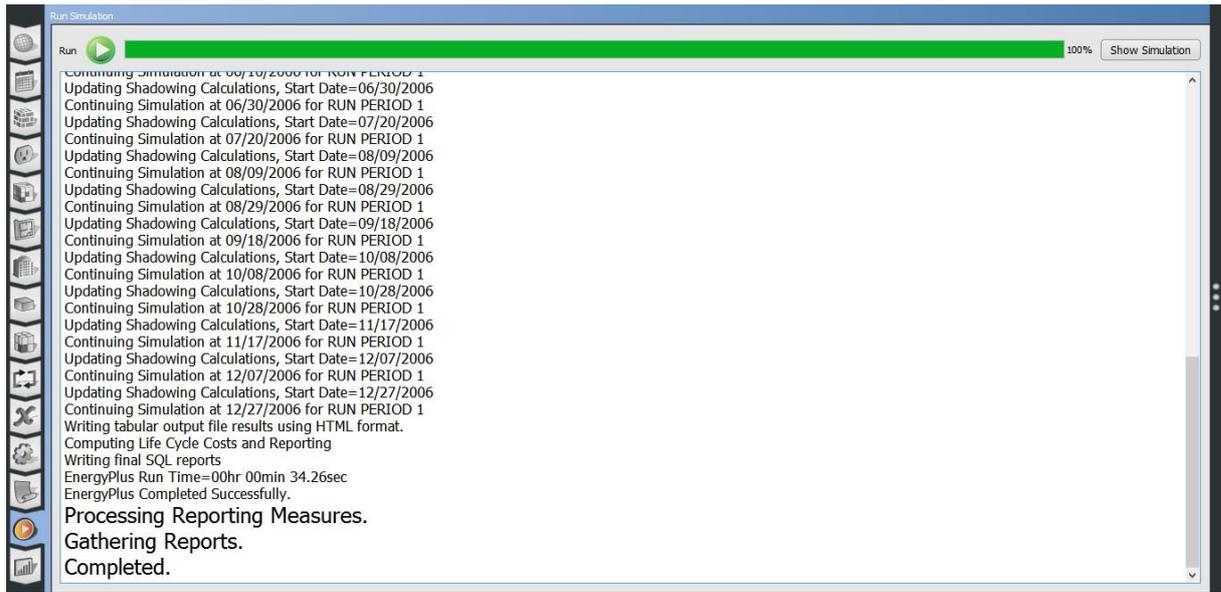


Figura 29 - Interface da simulação, parte 2. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)



Figura 30 - Arquivo criado com os resultados de cada análise. Fonte: Autor (2020)

Além dos resultados que esperamos obter, o programa fornece cerca de 32 páginas com diversas tabelas e informações como porcentagem de uso energético por exemplo, porém utilizamos apenas os dados que eram necessários.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as análises tivemos relatórios com mesmos resultados, em alguns aspectos analisados pelo programa, que são os casos apresentados nas Figuras 31, 32 e 33.

	Valor
Versão do programa e compilação	EnergyPlus, Versão 9.2.0-921312fa1d, YMD = 2020.01.20 22:51
RunPeriod	PERÍODO DE EXECUÇÃO 1
Arquivo de clima	Rio Verde GO BRA INMET WMO # = 867530
Latitude [deg]	-17,8
Longitude [deg]	-50,9
Elevação [m]	782,00
Fuso horário	-3,0
Ângulo do eixo norte [deg]	0,00
Rotação para o Apêndice G [deg]	0,00
Horas simuladas [hrs]	8760,00

Figura 31 - Resultados do local da simulação. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Total	Norte (315 a 45 graus)	Leste (45 a 135 graus)	Sul (135 a 225 graus)	Oeste (225 a 315 graus)
Área bruta da parede [m2]	127,50	33,00	31,50	31,50	31,50
Área da parede acima do solo [m2]	127,50	33,00	31,50	31,50	31,50
Área de abertura de janela [m2]	10,44	2,04	3,00	1,80	3,60
Relação bruta da parede da janela [%]	8,19	6,18	9,52	5,71	11,43
Relação Janela-Parede Acima do Solo [%]	8,19	6,18	9,52	5,71	11,43

Figura 32 - Resultado da relação parede-janela. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Total
Área bruta do telhado [m2]	57,00
Área da clarabóia [m2]	0,00
Relação telhado-claraboia [%]	0,00

Figura 33 - Resultado da relação telhado-claraboia. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

A análise 1 foi feita com o sistema de vedação de tijolo maciço aparente com o sistema de cobertura de telha de fibrocimento, os resultados estão representados nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo maciço aparente e telha de fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	13,65
Aquecedor de ambiente	0,70
Refrigeração do espaço	72,70
Equipamentos	12,94

Tabela 5 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo maciço aparente e telha de fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,968
Adição de calor nas janelas (GJ)	14,874
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,297
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	5,534
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-2,937
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,049

Aproveitando as configurações da parede de tijolo maciço aparente, foi realizado a análise 2, agora com a telha cerâmica, os resultados estão representados nas Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo maciço aparente e telha cerâmica. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	14,46
Aquecedor de ambiente	0,50
Refrigeração do espaço	71,33
Equipamentos	13,71

Tabela 7 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo maciço aparente e telha cerâmica. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,967
Adição de calor nas janelas (GJ)	15,120
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,318
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	3,516
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-3,279
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,423

Com as configurações da telha cerâmica, foi realizado a análise 3, com a vedação do tipo parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção, os resultados estão representados nas Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha cerâmica. Fonte: Autor (2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	15,37
Aquecedor de ambiente	0,29
Refrigeração do espaço	69,78
Equipamentos	14,57

Tabela 9 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha cerâmica. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,959
Adição de calor nas janelas (GJ)	15,094
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,309
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	1,090
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-3,287
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,576

Após a simulação da parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção com a telha cerâmica, na análise 4 alteramos para a telha de fibrocimento e os resultados estão representados nas Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	14,49
Aquecedor de ambiente	0,43
Refrigeração do espaço	71,35
Equipamentos	13,73

Tabela 11 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e telha fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,961
Adição de calor nas janelas (GJ)	14,849
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,290
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	3,091
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-2,940
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,196

A análise 5 foi feita utilizando as configurações da telha de fibrocimento e da parede de tijolo de 8 furos quadrados agora assentados na maior direção, os resultados estão representados nas Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	14,98
Aquecedor de ambiente	0,29
Refrigeração do espaço	70,53
Equipamentos	14,20

Tabela 13 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha fibrocimento. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,956
Adição de calor nas janelas (GJ)	14,768
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,284
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	1,422
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-2,750
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,064

Na análise 6 continuou as configurações da parede de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e alternou o tipo de cobertura para telha cerâmica, os resultados estão representados nas Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14 - Porcentagem de uso final da energia com tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha cerâmica. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

	Porcentagem (%)
Iluminação de interior	15,97
Aquecedor de ambiente	0,17
Refrigeração do espaço	68,72
Equipamentos	15,14

Tabela 15 - Ganho e perda de calor sensível à construção de tijolo de 8 furos quadrados assentados na maior direção e telha cerâmica. Fonte: Autor (2020)

Adição de calor sensível as pessoas (GJ)	1,954
Adição de calor nas janelas (GJ)	15,009
Adição de calor por infiltração (GJ)	1,295
Condução de superfície opaca e outras adições de calor (GJ)	0,001
Remoção de calor pelas janelas (GJ)	-3,112
Remoção de calor por infiltração (GJ)	-3,476

A Figura 34, mostra um comparativo entre os sistemas de vedação e os seus principais resultados obtidos quanto a adição de calor sensível as pessoas.

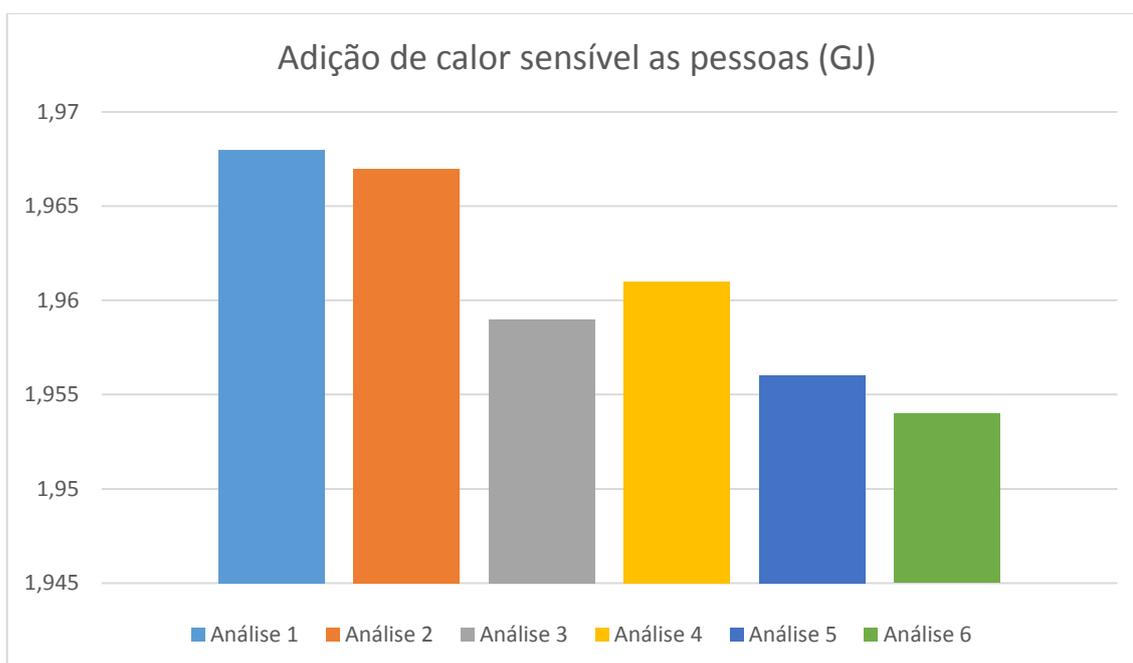


Figura 34 - Comparativo dos resultados adição de calor sensível as pessoas. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Na Figura 35, podemos ver a comparação dos resultados em relação a adição de calor nas janelas.

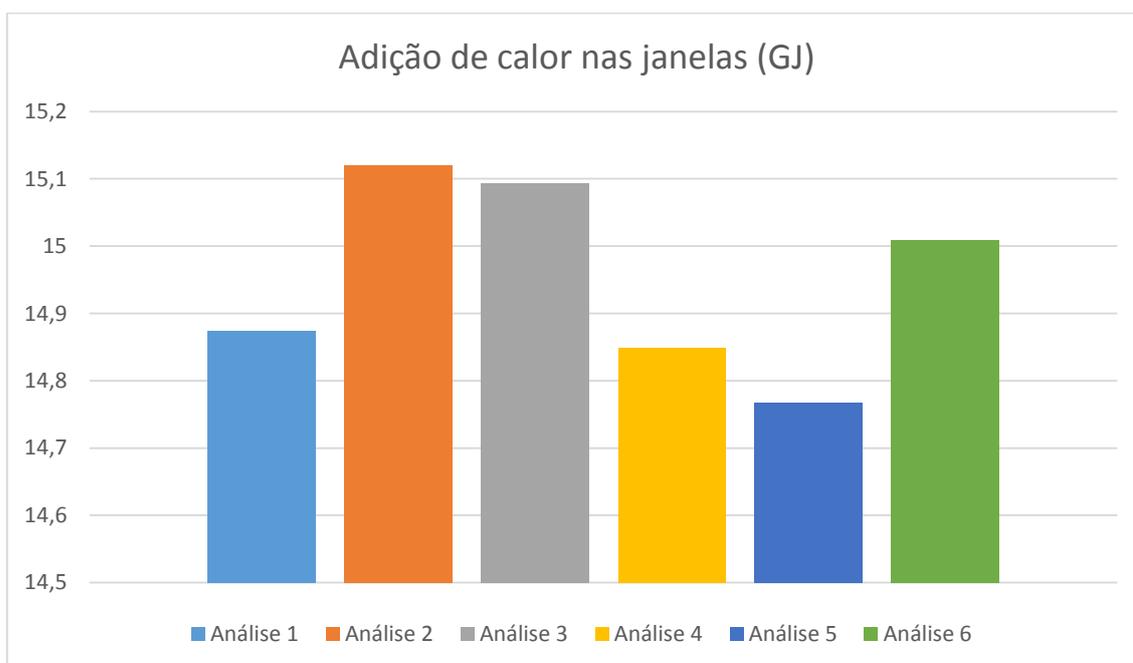


Figura 35 - Comparativo dos resultados adição de calor nas janelas. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

O comparativo entre a adição de calor por infiltração pode ser observado na Figura 36.

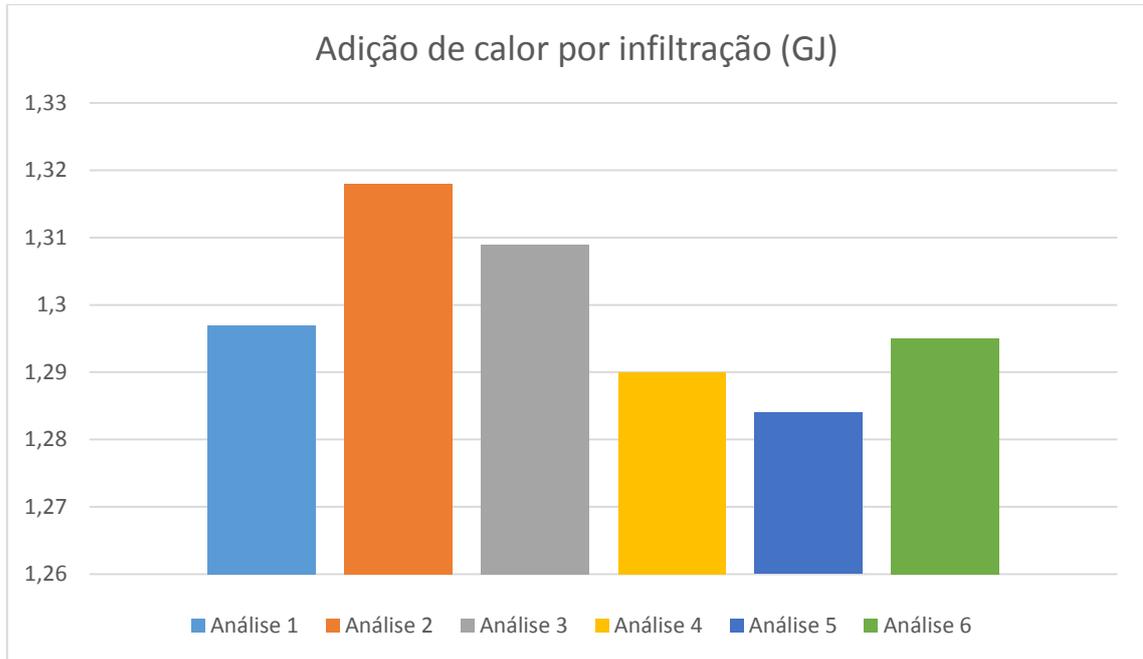


Figura 36 - Comparativo dos resultados adição de calor por infiltração. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Abaixo temos na Figura 37 a comparação entre os resultados relacionados a condução de superfície opaca e outras adições de calor.

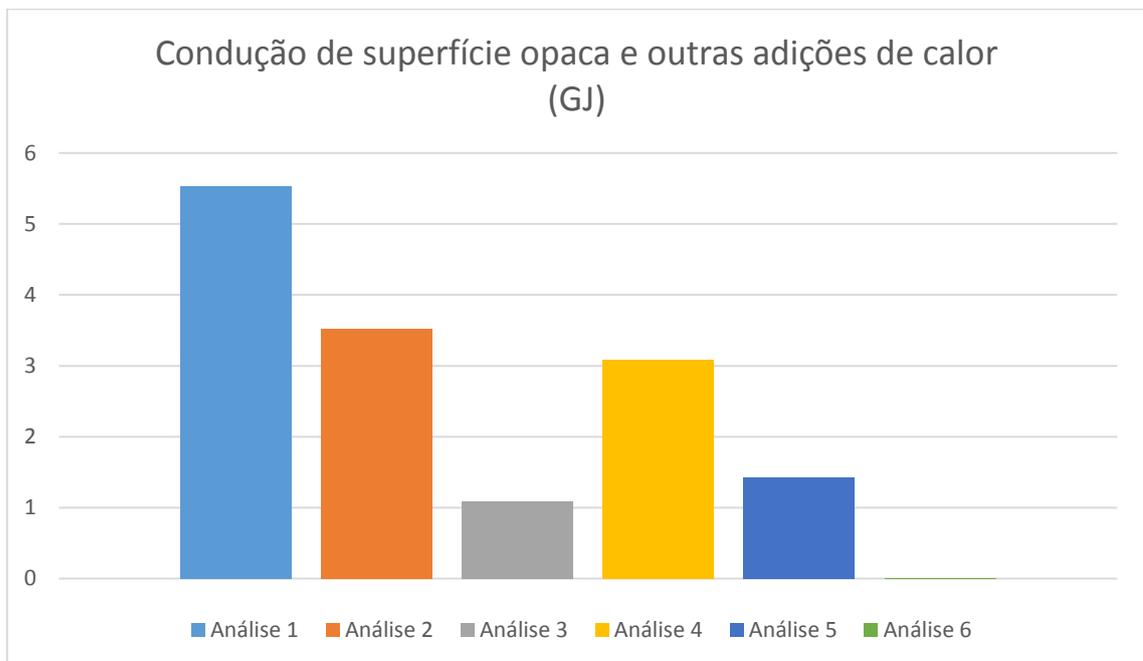


Figura 37 - Comparativo dos resultados condução de superfície opaca e outras adições de calor. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Os resultados da remoção de calor pelas janelas podem ser observados na Figura 38.

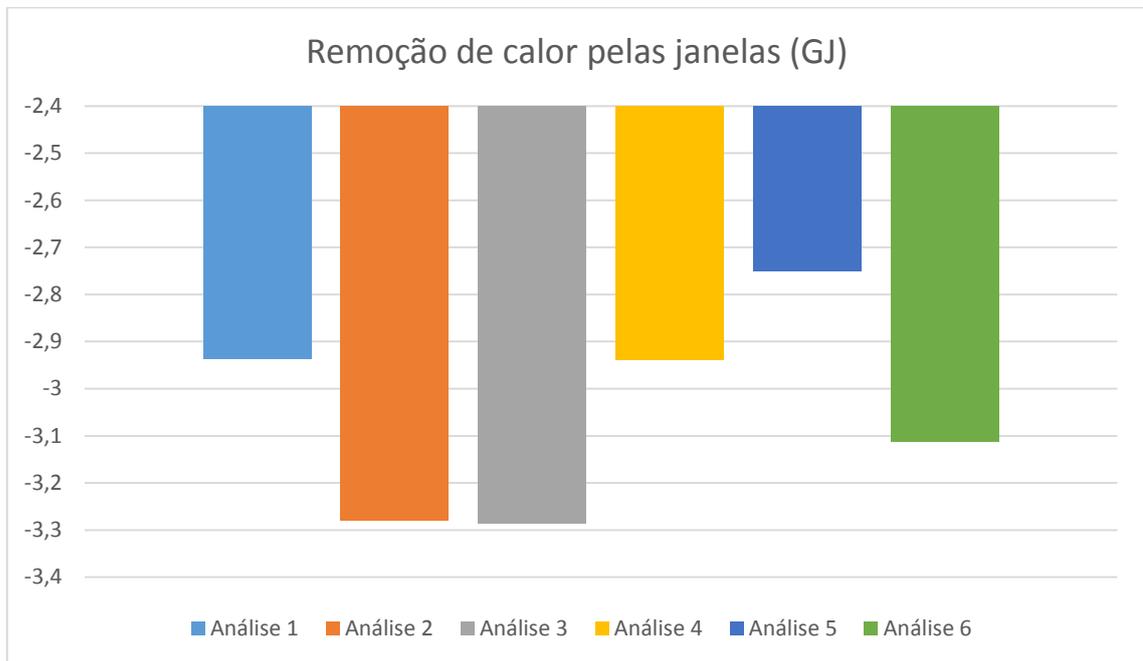


Figura 38 - Comparativo dos resultados remoção de calor pelas janelas. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

O comparativo entre a remoção de calor por infiltração pode ser observado na Figura 39.

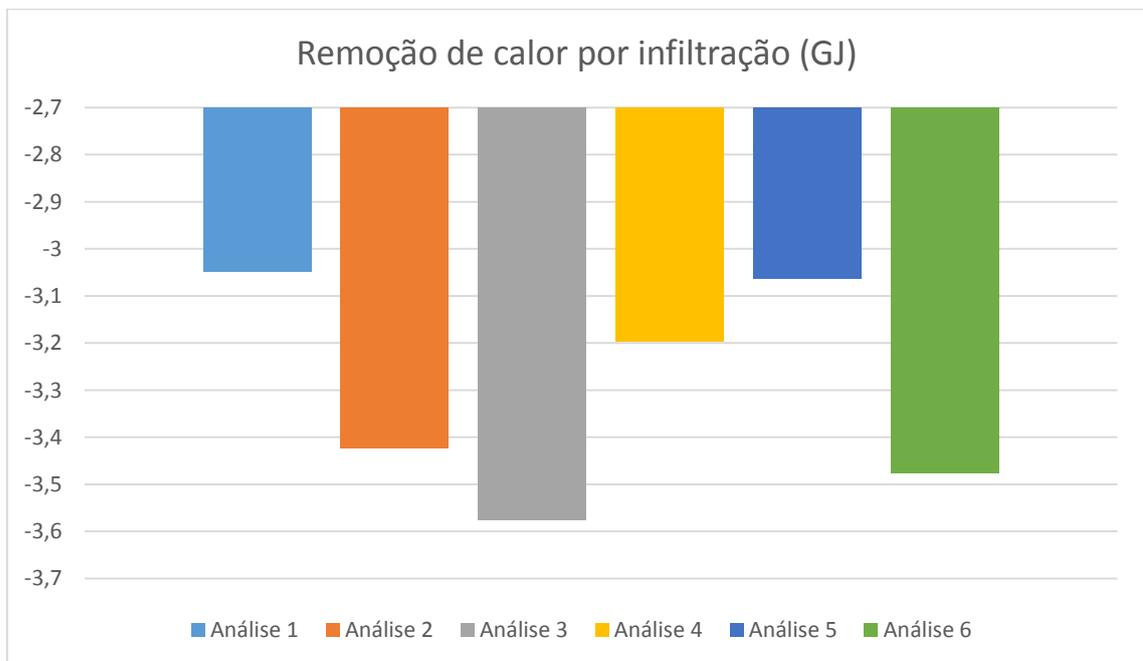


Figura 39 - Comparativo dos resultados remoção de calor por infiltração. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Com a finalidade de facilitar o entendimento da conclusão dos resultados, foram feitas mais duas análises, comparando o valor total de adição de calor em cada edificação e o valor total da remoção de calor de cada uma, as análises podem ser vistas na Figura 40 e 41.

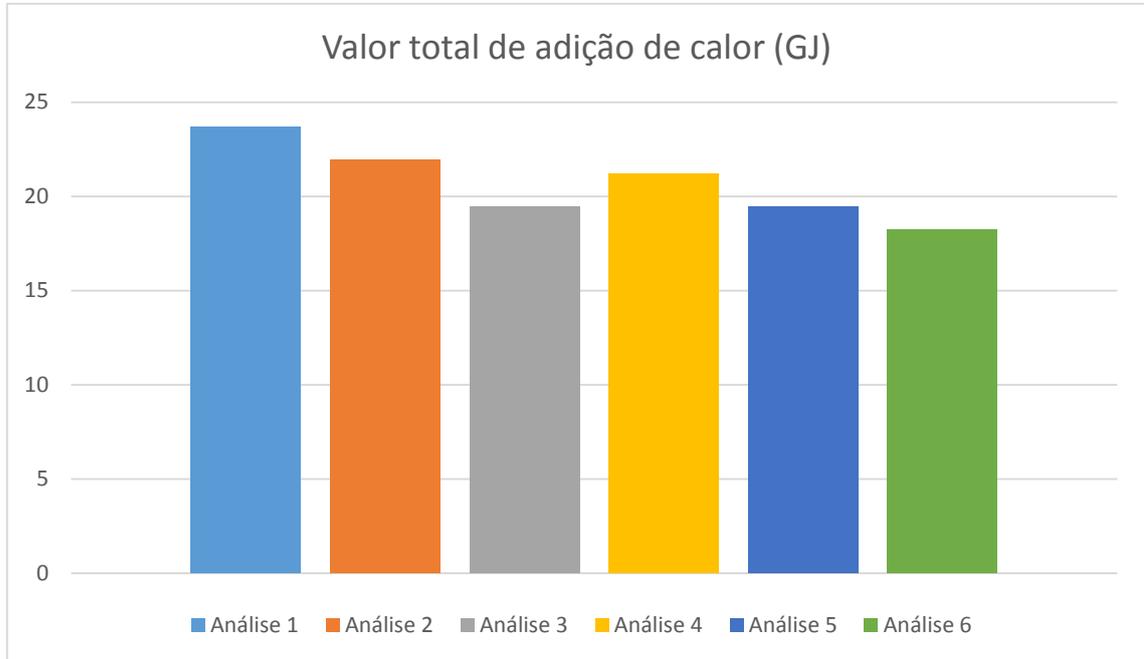


Figura 40 - Comparativo valor total de adição de calor. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

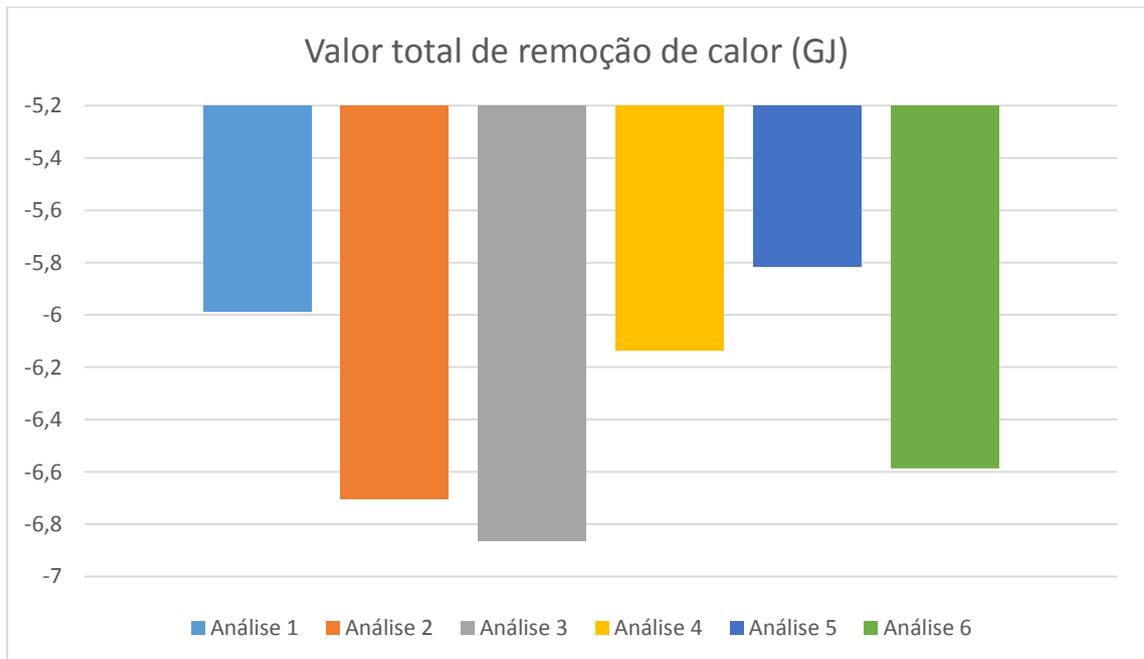


Figura 41 - Comparativo valor total de remoção de calor. Fonte: (ALMEIDA, Raiza Peres de, 2020)

Os valores obtidos na adição total de calor foram respectivamente 23.673, 21.921, 19.452, 21.191, 19.43 e 18.259, tendo no final o valor médio de 20.654. Na remoção total de calor os valores obtidos foram -5.986, -6.702, -6.863, -6.136, -5.814 e -6.588, respectivamente, e o valor médio foi de -6.348.

Sabe-se que uma das características das edificações para se tornarem ideal é o conforto térmico, onde a temperatura pode aumentar ou diminuir, se adequando para deixar o local agradável as pessoas que ali estão. Para que isso ocorra existem diversos fatores que influenciam no aumento ou diminuição da mesma, um dos fatores são os materiais empregados na construção da edificação. Por isso, foi analisado o conjunto vedação e cobertura como influência na perda ou ganho de calor.

Não se pode analisar valores pontuais de adição ou remoção de calor nos conjuntos vedação e cobertura, por isso foi feito o valor total tanto de adição quanto de remoção de calor pela edificação. A edificação não pode ganhar tanto calor para que nos dias quentes a temperatura dentro da edificação fique muito elevada e cause um desconforto térmico excessivo, mas também não pode perder muito calor já que uma das funções das paredes são armazenar o calor recebido durante o dia para que a noite e em dias frios, o ambiente fique com um clima mais agradável.

5 CONCLUSÕES

Com os valores médios obtidos, 20,654 para adição total de calor e -6,348 para remoção total de calor, pode-se observar que a análise que mais chega perto em ambos os requisitos é a análise 4, que é o tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção com emboço de 2,5 cm de cada lado e a telha de fibrocimento, tendo 21,191 para adição total de calor e -6,136 para remoção total de calor.

O fato de o conjunto tijolo de 8 furos quadrados assentados na menor direção e cobertura de fibrocimento terem sido os que apresentaram os melhores resultados para a cidade de Rio Verde - GO, não descarta os demais conjuntos e também não são inutilizados nem na cidade em questão nem em outras cidades.

O ideal é que seja realizado um estudo com esse mesmo objetivo para cada cidade e região, pois a edificação com melhor desempenho na cidade de Rio Verde – Goiás pode não ser tão eficaz em uma cidade do nordeste onde as temperaturas são mais altas por exemplo e nem em uma cidade do sul onde o clima é mais frio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, Beatriz. **Conforto térmico em habitações de interesse social – Um estudo de caso**. 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 – 1**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: 2003. 66p.

_____. **NBR 15575 – 1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: 2013. 60p.

_____. **NBR 15575 – 4**: Sistema de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: 2013. 57p.

_____. **NBR 15575 – 5**: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro: 2013. 63p.

CARVALHO, Matheus Teodoro Soares de. **Fatores que influenciam no conforto térmico no ambiente de trabalho: uma revisão sistemática**. 2018. 14f. Artigo (Especialização em Engenharia e segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

EnergyPlus. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 16 de maio de 2019.

EnergyPlus. Disponível em: <http://www.otec.com.br/index.php?s=164>. Acesso em: 16 de maio de 2019.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

ISO 7730: 2005: Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. 2005.

MELO, Ana Paula, WESTPHAL, Fernando Simon, MATOS, Michele. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus**. 2009. 24p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

PIMENTA, Ana Isabela, OLIVEIRA, Beatriz, CAMPOS, Joana, NETO, Maria João, PEREIRA, Rafaela. **Conceito de conforto térmico humano**. Relatório - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

WALLAUER, Maurício Ditter. **Utilização do programa EnergyPlus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras**. 2003. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

7 APÊNDICE

18

Projeto 02:135.07-001/3:2003

Anexo D (informativo)

Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas

Tabela D.1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.3

Material	Densidade	Condutividade	Calor específico
	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	1600	0,90	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,00
Concreto	2400	1,75	1,00

Tabela D.2 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos componentes da tabela D.4

Material	Densidade	Condutividade	Calor específico
	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica	2000	1,05	0,92
Fibro-cimento	1900	0,95	0,84
Madeira	600	0,14	2,30
Concreto	2200	1,75	1,00
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	2700	230	0,88
Lã de vidro	50	0,045	0,70

Tabela D.3 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

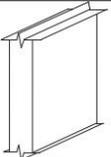
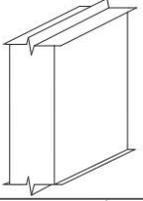
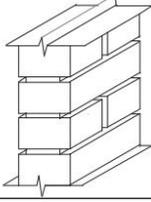
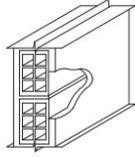
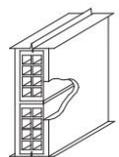
Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	ϕ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

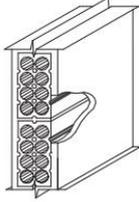
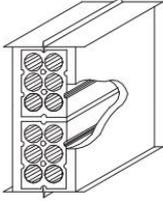
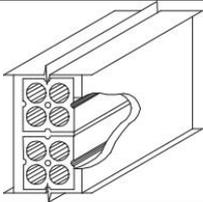
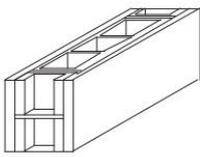
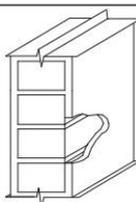
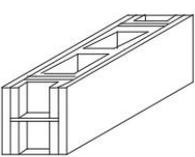
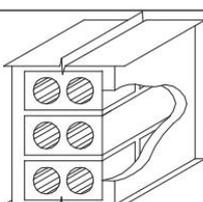
Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	3,7
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
	Parede com 4 furos circulares Dimensões do tijolo: 9,5x9,5x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,5 cm	2,49	186	3,7
	Parede de blocos cerâmicos de 3 furos Dimensões do bloco: 13,0x28,0x18,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 18,0 cm	2,43	192	3,8
	Parede de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	3,13	255	3,8
	Parede de blocos cerâmicos de 2 furos Dimensões do bloco: 14,0x29,5x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,45	203	4,0
	Parede de tijolos com 2 furos circulares Dimensões do tijolo: 12,5x6,3x22,5 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,5 cm	2,43	220	4,2

Tabela D.3 (continuação) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

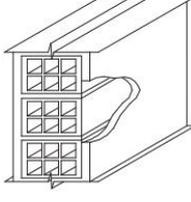
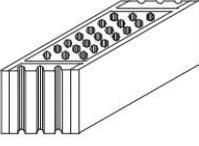
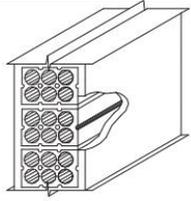
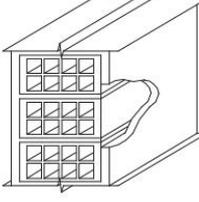
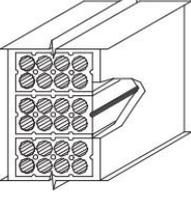
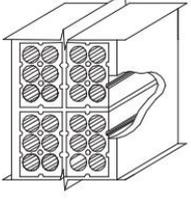
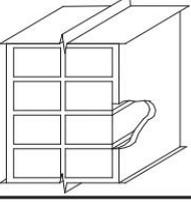
Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 19,0 cm	2,02	192	4,5
	Parede de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 17,0 cm	2,31	227	4,5
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 20,0 cm	1,92	202	4,8
	Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 24,0 cm	1,80	231	5,5
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 25,0 cm	1,61	232	5,9
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5
	Parede dupla de tijolos maciços, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	2,30	430	6,6

Tabela D.3 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes.

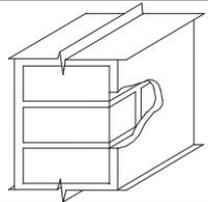
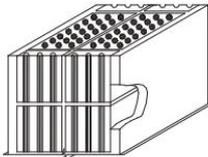
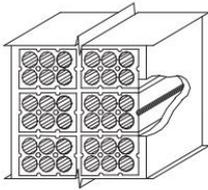
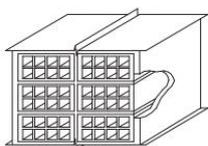
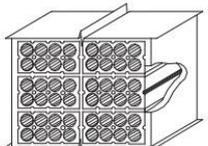
Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos maciços, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 27,0 cm	2,25	445	6,8
	Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 12,0x11,0x25,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 30,0 cm	1,54	368	8,1
	Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 36,0 cm	1,21	312	8,6
	Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 44,0 cm	1,12	364	9,9
	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	10,8

Tabela D.4 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento sem forro Espessura da telha: 0,7 cm	4,60	11	0,2
	Cobertura de telha de barro com forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	32	1,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	2,00	25	1,3
	Cobertura de telha de barro com forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,24	84	2,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	2,25	77	2,6
	Cobertura de telha de barro com forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K)	1,92	113	3,6
	Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K)	1,93	106	3,6
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,84	458	8,0
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,99	451	7,9
	Cobertura de telha de barro com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,75	568	9,3
	Cobertura de telha de fibro-cimento com laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,75	561	9,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,11	32	2,0

Tabela D.4 (conclusão) – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	1,16	25	2,0
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 1,0 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	84	4,2
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de concreto Espessura da telha: 0,7 cm Espessura do concreto: 3,0 cm	1,18	77	4,2
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K)	1,09	113	5,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm R _{t(laje)} = 0,0900 (m ² .K/W) C _{T(laje)} = 95 kJ/(m ² .K)	1,09	106	5,4
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,06	458	11,8
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,06	451	11,8
	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 1,0 cm	1,03	568	13,4
	Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm Espessura da telha: 0,7 cm	1,03	561	13,4
	Cobertura de telha de barro com 2,5 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,95	33	2,3
	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira Espessura da telha: 1,0 cm Espessura da madeira: 1,0 cm	0,62	34	3,1

NOTAS:

1 As transmitâncias térmicas e os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

2 Deve-se atentar que, apesar da semelhança entre a transmitância térmica da cobertura com telhas de barro e aquela com telhas de fibrocimento, o desempenho térmico proporcionado por estas duas coberturas é significativamente diferente pois as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água (de chuva ou de condensação). Este fenômeno contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois parte deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha. Desta forma, sugere-se a utilização de telhas de barro em seu estado natural, ou seja, isentas de quaisquer tratamentos que impeçam a absorção de água.