



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

IGOR CÉSAR FERREIRA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO UTILIZANDO O ENERGYPLUS DE
UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM LIGHT STEEL FRAME**

CAMPINA GRANDE

2019

IGOR CÉSAR FERREIRA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO UTILIZANDO O
ENERGYPLUS DE UMA EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR EM LIGHT
STEEL FRAME**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Marcos Antônio de Sousa Simplício

CAMPINA GRANDE – PB

2019

Dedico todo esforço aplicado nesse trabalho, e também todo meu conhecimento profissional e pessoal adquirido, à Deus e a minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me proporcionado todas as minhas conquistas. Agradeço a toda minha família, em especial ao meu pai, meu irmão e minha mãe, Regina Darc Nogueira, pelo esforço dedicado à mim e o apoio que me deram durante todo o curso. Agradeço também aos amigos, pela paciência e empatia que tiveram comigo durante essa graduação (tmj galera!). Por fim, sou grato a todos os meus professores, responsáveis pela minha formação profissional e pessoal, em especial, agradeço ao meu orientador Simplício, pela oportunidade que me foi concedida e pela referência que é para mim.

“O mais importante para o homem é crer em si mesmo. Sem esta confiança em seus recursos, em sua inteligência, em sua energia, ninguém alcança o triunfo a que aspira.”

(Thomas Atkinson)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de construção em <i>Light Steel Framing</i>	16
Figura 2: Desenho esquemático dos componentes de uma residência em <i>Light Steel Framing</i>	18
Figura 3: Painéis estruturais em <i>Light Steel Framing</i>	19
Figura 4: Componentes de um painel estrutural com abertura.....	20
Figura 5: Transmissão de cargas verticais entre painéis	21
Figura 6: Painel típico sem abertura em <i>Light Steel Framing</i>	21
Figura 7: Placas de OSB usadas para fechamento externo.....	23
Figura 8: Placas cimentícias utilizadas para fechamento externo	24
Figura 9: Revestimento interno feito em <i>Drywall</i>	25
Figura 10: Desenho esquemático de uma laje úmida	26
Figura 11: Fluxograma dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação ventilada naturalmente.....	30
Figura 12: Etapas da simulação no <i>EnergyPlus</i>	35
Figura 13: Modelo genérico de parede interna em <i>light steel frame</i>	37
Figura 14: Modelo genérico de parede externa em <i>light steel frame</i>	38
Figura 15: Planta baixa da residência usada na simulação térmica.....	41
Figura 16: Modelagem de uma zona térmica no <i>Sketchup</i>	42
Figura 17: Interface do usuário do programa <i>OpenStudio</i>	43
Figura 18: Corte em planta do painel construtivo.....	45
Figura 19: Face frontal da residência voltada para o sul.....	53
Figura 20: Face lateral direita da residência em perspectiva.....	54
Figura 21: Face lateral esquerda da residência em perspectiva	54
Figura 22: Face posterior da residência voltada para o norte.....	55
Figura 23: Zonas térmicas da residência	55
Figura 24: Superfícies internas e externas da residência.....	56
Figura 25: Identificação das superfícies externas da residência.....	58
Figura 26: Identificação das superfícies internas da residência	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores máximos de temperatura no verão	31
Tabela 2: Valores mínimos de temperatura no inverno.....	32
Tabela 3: <i>International Climate Zones</i>	39
Tabela 4: Cômodos da residência utilizada na simulação	42
Tabela 5: Propriedades dos materiais utilizados.....	44
Tabela 6: Propriedades dos vidros utilizados	44
Tabela 7: Painéis de fechamento externo	45
Tabela 8: Painéis de fechamento interno	46
Tabela 9: Elementos construtivos de fechamento externo	46
Tabela 10: Cronograma de atividades do Quarto 1	47
Tabela 11: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial do Quarto 1	47
Tabela 12: Cronograma de atividades do Quarto 2	48
Tabela 13: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial do Quarto 2	48
Tabela 14: Cronograma de atividades da Sala.....	49
Tabela 15: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial da Sala.....	49
Tabela 16: Cronograma de atividades da Cozinha	50
Tabela 17: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial da Cozinha	50
Tabela 18: Ganho interno de calor devido a atividade humana.....	51
Tabela 19: Ganhos internos de calor devido a luz e equipamentos elétricos	51
Tabela 20: Cargas internas devido a pessoas.....	51
Tabela 21: Cargas internas devido a luz	52
Tabela 22: Cargas internas devido a equipamentos elétricos	52
Tabela 23: Temperaturas externas no dia típico de verão	57
Tabela 24: Temperatura da face externa das superfícies externas	59
Tabela 25: Temperatura da face interna das superfícies internas.....	61
Tabela 26: Ganho Interno de Calor Devido a Cargas Internas.....	62
Tabela 27: Temperatura Radiante Média de cada zona térmica.....	63
Tabela 28: Temperatura Interna do Ar nas Zonas Térmicas.	64
Tabela 29: Critérios de valores máximos de temperatura de verão para zona 8.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e da cozinha	66
Gráfico 2: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e do quarto 1	67
Gráfico 3: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e do quarto 2	68
Gráfico 4: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e da sala.....	69
Gráfico 5: Influência da Temperatura Radiante Média - Cozinha	70
Gráfico 6: Influência da Temperatura Radiante Média – Quarto 1	71
Gráfico 7: Influência da Temperatura Radiante Média – Quarto 2.....	72
Gráfico 8: Influência da Temperatura Radiante Média – Sala	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMY – *Actual Weather Year*

CT – Capacidade Térmica

DDY – *Design Day Data file.*

EPW – *EnergyPlus Weather File*

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LSF – *Light Steel Framing*

MRT - Temperatura Média

Mpa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NOOA - *National Oceanic and Atmospheric Radiante Administration*

OSB - *Oriented Strand Board*

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

TMY – *Typical Weather Year*

UPA – Unidade de Pronto Atendimento

ZAR – Zinco de Alta Resistência

RESUMO

A constante mudança das preferências dos usuários, juntamente com a chegada de novos produtos e serviços no âmbito da construção civil, acarretou na necessidade de desenvolver novos tipos de sistemas construtivos personalizados. Neste contexto, surgiram os sistemas construtivos industrializados, destacando-se em especial o sistema *Light Steel Frame*, que por sua vez tem como características principais a velocidade nos processos construtivos, uso racional de materiais, além do comprometimento com a sustentabilidade. Diante deste cenário de aparecimento de novos métodos construtivos, fez-se necessário o estabelecimento de critérios normativos para que seja verificado o desempenho e conforto oferecido pelas edificações concebidas a partir dos mesmos. Almeja-se no presente trabalho avaliar uma residência hipotética de baixo custo quanto ao desempenho e conforto térmico, segundo a norma ABNT NBR 15575 de 2013. Seguindo a prescrição da norma, a avaliação térmica foi realizada mediante uma simulação térmica computacional, por meio da utilização do software *EnergyPlus*. O mesmo leva em consideração a definição geométrica da residência e suas rotinas de uso e ocupação, além dos materiais utilizados nos seus elementos construtivos e a climatologia da região na qual ela se encontra. Desta forma, foi possível verificar as principais variáveis térmicas, que influenciam no conforto térmico dos usuários, e conseqüentemente no desempenho térmico das zonas de permanência prolongada da residência, tendo em vista os dias típicos de verão. De acordo com a análise dos dados obtidos dessas variáveis, e comparando-os com os critérios normativos, entende-se que o desempenho térmico da edificação classifica-se como superior (S). Julga-se ainda que o uso de equipamentos e as rotinas de ocupação da residência são fatores de relevância para a variação térmica da temperatura interna dos cômodos da mesma. Por fim, acredita-se que o uso de simulações computacionais é o caminho mais viável para analisar o desempenho térmico de uma edificação na sua fase de projeto. Assim sendo, conhecer esse desempenho permite realizar um estudo energético, que por sua vez pode possibilitar a concepção de projetos que proporcionem conforto térmico de forma natural aos usuários da edificação.

Palavras-chave: Simulação térmica, conforto térmico, construção industrializada.

ABSTRACT

The constant change in user preferences, along with the arrival of new products and services in the field of civil construction, resulted in the need to develop new types of personalized construction systems. In this context, industrialized construction systems emerged, especially the Light Steel Frame system, which in turn has as main characteristics the speed in the construction processes, rational use of materials, in addition to the commitment to sustainability. Given this scenario of the appearance of new constructive methods, it was necessary to establish normative criteria for the performance and comfort offered by the buildings conceived from them. The present work aims to evaluate a low-cost hypothetical single-family residence, in terms of performance and thermal comfort, according to ABNT NBR 15575 standard of 2013. Following the prescription of the standard, thermal evaluation was performed through a computational thermal simulation, using the EnergyPlus software. The same takes into account the geometric definition of the residence and its routines of use and occupation, in addition to the materials used in its construction elements and the climatology of the region in which it is located. Thus, it was possible to verify the main thermal variables, which influence the thermal comfort of users, and consequently on the thermal performance of the prolonged permanence zones of the residence, in view of the typical summer days. According to the analysis of the data obtained from these variables, and comparing them with the normative criteria, it is understood that the thermal performance of the building is classified as superior (S). It is also thought that the use of equipment and the routines of occupation of the residence are factors of relevance for the thermal variation of the internal temperature of the rooms of the residence. Finally, it is believed that the use of computational simulations is the most viable way to analyze the thermal performance of a building in its design phase. Therefore, knowing this performance allows us to perform an energetic study, which in turn can enable the design of projects that provide thermal comfort in a natural way to building users.

Key words: Thermal simulation, thermal comfort, industrialized construction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 CONSTRUÇÃO ESTRUTURADA EM LIGHT STEEL FRAME	15
2.1.1 Histórico do <i>light steel framing</i> na construção civil	15
2.1.2 O sistema <i>light steel framing</i>	17
2.1.3 Método de construção por painéis.....	18
2.1.4 Fundação	22
2.1.5 Fechamento e acabamento	22
2.1.6 Lajes	26
2.1.7 Cobertura.....	26
2.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES.....	27
2.2.1 Parâmetros térmicos	28
2.2.2 Avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas	28
2.2.3 Variáveis do Ambiente Relacionadas ao Conforto Térmico.....	32
2.2.4 Softwares Energyplus – OpenStudio e Sketchup.....	33
2.2.5 Etapas da simulação	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 ELABORAÇÃO DE PLANTA BAIXA RESIDENCIAL	41
3.2 MODELAGEM DA PLANTA EM 3D	42
3.3 APLICAÇÃO DOS SOFTWARES OPENSTUDIO E ENERGYPLUS	43
3.3.1 Dados Climáticos de Campina Grande – PB.	43
3.3.2 Propriedades Térmicas dos Materiais Construtivos	44

3.3.3	Descrição da Tipologia dos Elementos Construtivos Utilizados	45
3.3.4	Cronograma de Atividades e Rotinas de Uso de Equipamentos.....	46
3.3.5	Ganhos Internos de Calor.....	50
3.3.6	Definições de Cargas Internas.....	51
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	MODELAGEM 3D DA RESIDÊNCIA	53
4.2	TEMPERATURA DE BULBO SECO AO AR LIVRE.....	56
4.3	TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES INTERNAS E EXTERNAS.	57
4.4	TAXA DE GANHO DE CALOR POR CONVECÇÃO DEVIDO A CARGAS INTERNAS.....	62
4.5	TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA DE CADA ZONA.....	63
4.6	TEMPERATURA INTERNA DE CADA ZONA.....	64
4.7	ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	65
4.7.1	Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Cozinha.....	65
4.7.2	Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Quarto 1	66
4.7.3	Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Quarto 2.....	67
4.7.4	Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Sala.....	68
4.7.5	Influência da Temperatura Radiante Média	69
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
6.	REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil, historicamente, caracteriza-se pelo método artesanal na execução de obras residenciais. Nesse contexto, a improvisação é uma característica nesse tipo de modelo construtivo, uma vez que o risco de ocorrerem situações imprevistas sempre existe. Sendo assim, a mão de obra, os materiais e o capital investido são submetidos a desperdícios e mal aproveitamento. Segundo Crasto (2005), a construção industrializada é o caminho para mudar essa situação, os construtores devem procurar investir nesse ambiente de trabalho, com mão de obra de qualidade, otimizando custos e materiais, com uma produção e execução padronizada.

O sistema construtivo em Light Steel Framing (LSF), é caracterizado pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado, e outros componentes industrializados que compõe o esqueleto estrutural, que por sua vez tem função de resistir aos esforços solicitantes que atuam na edificação (FREITAS E CRASTO, 2006; RODRIGUES, 2006). Os perfis de aço em LSF podem ser projetados também para constituir subsistemas de fundação, fechamento externo e interno com instalações hidráulicas, elétricas e isolamento termo-acústico. A principal vantagem da construção utilizando esse tipo de sistema é o uso mínimo de recursos naturais, e a produção quase nula de entulhos pós obra, uma vez que o aproveitamento de materiais é pleno. Do ponto de vista residencial, em especial construções de pequeno e médio porte, o LSF é uma alternativa bastante viável e usada amplamente no exterior, já que não é necessário uma estrutura capaz de resistir a grandes cargas e vãos extensos.

Outro aspecto importante para as construções residenciais, sejam elas com LSF ou não, é a qualidade térmica de seu ambiente. Segundo a ABNT NBR 15575 de 2013, para que uma edificação atenda às necessidades de seus usuários a mesma deve satisfazer os requisitos básicos ou mínimos (M) de desempenho. Sendo que para os mesmos também podem ser estabelecidos níveis mais elevados de desempenho, intermediário (I) e superior (S). O bem estar em uma residência está relacionado com a qualidade do ambiente interno. Sendo assim, uma edificação com má qualidade térmica pode afetar negativamente a vida e as atividades diárias dos residentes. Tendo em vista que o Brasil está localizado em uma região tropical, o conforto térmico precisa ter uma atenção especial nas construções residenciais. Segundo Frota e Schiffer (2003), mesmo em condições climáticas severas, é necessário buscar soluções de projeto como

forma de maximizar a performance térmica natural para que reduza ou até evite-se o uso de sistemas artificiais de condicionamento de ar.

Existem maneiras de se otimizar o fluxo de energia de uma residência, uma delas é utilizar elementos isolantes de fechamento. Também deve-se atentar para elementos arquitetônicos de projeto que proporcionem a ventilação natural e alguns componentes de proteção solar adequados às condições climáticas da região.

Sendo assim, o desempenho térmico e acústico de uma residência construída utilizando o sistema LSF deve ser atendido e adequado para o clima local e as exigências da norma de desempenho regulamentadora. Dessa forma, um estudo climático deve ser feito inicialmente, juntamente com técnicas arquitetônicas de ventilação e materiais isolantes termo-acústico. Deve-se ter em mente também que esse sistema deve se adequar as condições econômicas das regiões onde o mesmo seja empregado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem a finalidade realizar a avaliação do desempenho térmico de uma residência unifamiliar de baixo custo, construída em Light Steel Framing, levando em consideração os dados climáticos da microrregião de Campina Grande na Paraíba.

1.1.2 Objetivos específicos

Mostrar os componentes e elementos mais importantes utilizados no modelo construtivo Light Steel Framing;

- ✓ Realizar uma simulação numérica levando em consideração uma edificação naturalmente condicionada, as trocas de ar nos seus ambientes, as cargas internas de calor e a climatologia da sua região.
- ✓ Avaliar o desempenho térmico da edificação com base nos critérios normativos atuais.
- ✓ Analisar a influência do uso da residência em relação ao aumento da temperatura da mesma.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSTRUÇÃO ESTRUTURADA EM LIGHT STEEL FRAME

Neste capítulo, apresenta-se um breve histórico de como o sistema construtivo Light Steel Framing surgiu, se desenvolveu, seu contexto atual na construção civil no Brasil e suas principais vantagens e desvantagens. Também será mostrado uma revisão bibliográfica conceituando as características construtivas desse sistema, aplicações na construção civil, métodos construtivos, tipos de perfis utilizados e como são montados para conceber cada sistema estrutural de uma residência.

2.1.1 Histórico do *light steel framing* na construção civil

Historicamente o aço foi difundido na sociedade no século XVIII na Revolução Industrial na Inglaterra. O mesmo era bastante empregado na construção de ferrovias e estações ferroviárias. Posteriormente, ele foi introduzido também na construção de pontes. A partir do desenvolvimento da engenharia o aço foi ganhando seu espaço nos processos construtivos, uma vez que era possível a concepção de estruturas mais leves, industrializadas e econômicas. O processo de industrialização na construção civil se originou no Japão no século XVIII, e se intensificou após a 2ª guerra mundial, na Europa, uma vez que era necessário reparar e reconstruir as edificações destruídas durante as batalhas (FIRMO, 2003 apud CAIADO, 2005). No Brasil a industrialização na construção teve início na década de 50, com o uso de produtos pré-fabricados no mercado. Isso implicou no investimento por parte das siderúrgicas, o que resultou no desenvolvimento da variabilidade e qualidade dos perfilados metálicos produzidos.

No contexto da modernização dos elementos metálicos e das técnicas construtivas aliadas à industrialização, surgiu o sistema construtivo *Light Steel Frame*. Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), esse sistema tem uma concepção racional, possuindo uma estrutura constituída por perfis de aço galvanizados de espessura pequena formados a frio, que juntos formam painéis estruturais autoportantes, vigas, estruturas treliçadas e outros componentes construtivos. Por ser bem difundido no mercado internacional, o Brasil, na década de 90,

começou a importar estruturas LSF pré-fabricadas dos Estados Unidos, para a construção de residências.

Segundo Santiago (2008), atualmente o sistema LSF está em uma crescente aceitação no mercado brasileiro. Esse crescimento proporcionou um desenvolvimento do sistema no país, o qual já possui a capacidade de fornecer todos os recursos essenciais para a construção. A grande aceitação desse sistema é justificada pelas suas vantagens construtivas e aplicabilidade em diversas construções. A partir do desenvolvimento técnico do sistema pelos setores da infraestrutura, o sistema passou a ser empregado em várias tipos de edificações, como habitações de pequeno e grande porte, edifícios de apartamentos (de até quatro pavimentos), edifícios comerciais, escolas, hospitais, além de ser usado como *retrofit* de edificações existentes. A Figura 1, mostrada abaixo, evidencia uma edificação em construção usando *Light Steel Framing*.

Figura 1: Exemplo de construção em *Light Steel Framing*.



Fonte: *Steel Frame Brasil*, 2018.

Segundo Crasto (2005), os principais benefícios desse sistema empregado em edificações são os seguintes:

- Os produtos que constituem o sistema são padronizados de tecnologia avançada, sendo os elementos construtivos produzidos industrialmente;
- Matéria prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento são submetidos a rigorosos controles de qualidade;
- Facilidade de obtenção dos perfis formados a frio, uma vez que são largamente usados pela indústria;

- O aço é um material de resistência comprovada e alto controle de qualidade tanto em sua produção da matéria-prima quanto de seus produtos, permite maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura;
- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido a leveza dos elementos;
- Durabilidade e longevidade da estrutura, proporcionada pela galvanização das chapas de fabricação dos perfis;
- Construção a seco, o que diminui o uso de recursos naturais e o desperdício dos mesmos;
- Os perfis perfurados previamente e o uso dos painéis de gesso acartonado facilitam as instalações elétricas e hidrossanitárias;
- Facilidade na execução das ligações e rapidez de construção;
- O aço é um material incombustível e totalmente reciclável;
- Grande flexibilidade no projeto arquitetônico.

Uma das desvantagens desse sistema é a sua baixa popularidade em algumas regiões do Brasil, implicando em um maior custo de compra e transporte desses materiais para essas localidades, onde não é frequente a sua revenda. Outra desvantagem diz respeito a pouca quantidade de pavimentos que se é possível construir, limitando-se, no Brasil, a seis pavimentos. Por fim, como o sistema foi desenvolvido em regiões com climas diferentes do brasileiro, as deficiências desse sistema no Brasil dizem respeito a avaliação do desempenho térmico dos sistemas de fechamento, os quais devem ser concebidos para atender o clima tropical mesmo.

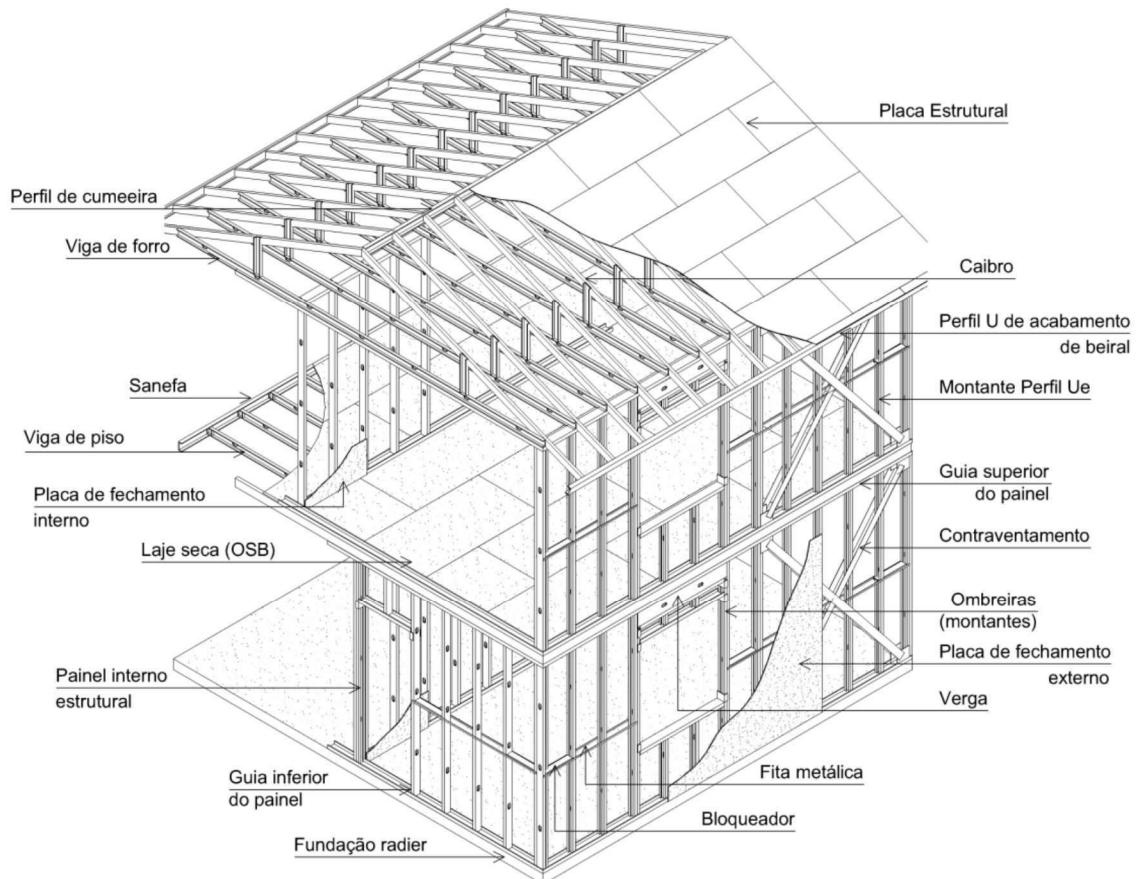
2.1.2 O sistema *light steel framing*

O sistema construtivo Light Steel Framing (LSF), tem origem do inglês, sendo que “Steel” significa aço e “Framing” estrutura. Esses perfis são agrupados de modo a constituir painéis estruturais, concebidos de maneira rápida e a seco, compondo essencialmente a estrutura, a qual é formada por parede, piso e cobertura, que tem como função resistir o carregamento da edificação.

De acordo com Crasto (2005), além de painéis estruturais, os perfis são utilizados também para composição de painéis não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e outros componentes. Além de sistema estrutural, o LSF abrange outros sistemas, como a fundação, o fechamento interno e externo, e seus respectivos isolamentos. Sendo assim,

é necessário que todos esses sistemas estejam harmonizados apropriadamente do ponto de vista de materiais e de execução. Na Figura 2, é observado uma representação de alguns dos diversos sistemas e componentes de uma residência projetada em *Light Steel Framing*.

Figura 2: Desenho esquemático dos componentes de uma residência em *Light Steel Framing*



Fonte: CRASTO, 2005, p. 13.

2.1.3 Método de construção por painéis

Existem diversos métodos de construção utilizando *Light Steel Framing*. Para este estudo será abordado o método de construção por painéis. Segundo Crasto (2005), a partir deste método podem ser feitos painéis estruturais ou não estruturais, contraventamentos, lajes e tesouras do telhado. Esses elementos podem ainda ser pré-fabricados fora do canteiro de obras e transportados para montagem dentro do mesmo. Dentre as vantagens desse tipo de método estão:

- Velocidade de montagem;
- Controle de qualidade e de produção e montagem dos painéis;
- Minimização da mão de obra dentro do canteiro.

As desvantagens desse método é que devido os painéis serem montados fora da obra, (ver Figura 3) é necessário um local para sua confecção, bem como um transporte adequado dos mesmos.

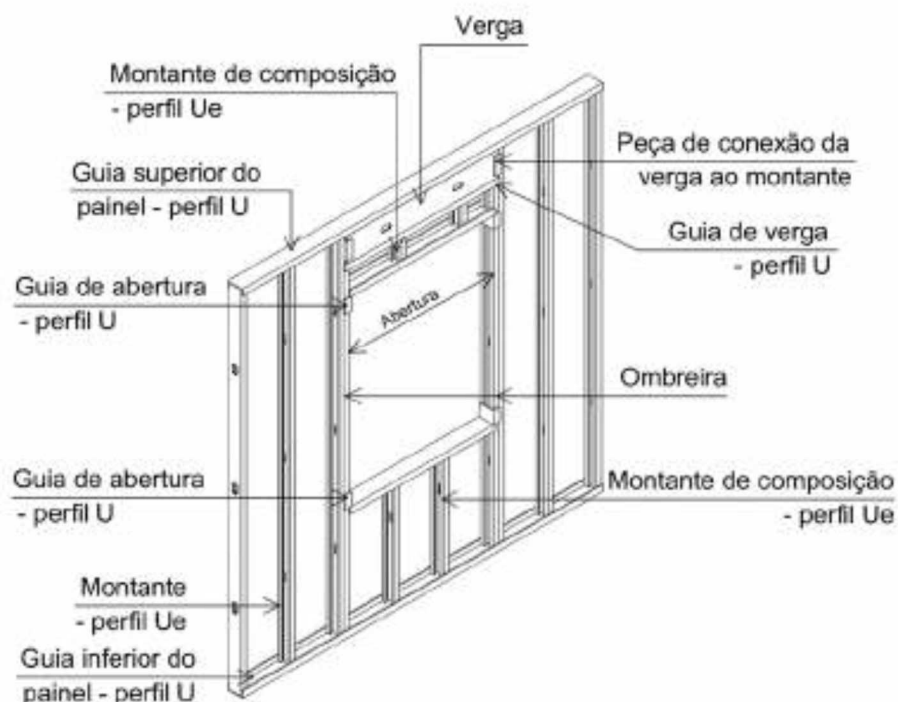
Figura 3: Painéis estruturais em Light Steel Framing



Fonte: Portal Met@lica, 2019.

A Figura 4 mostrada a seguir, ilustra alguns tipos de perfis utilizados na concepção de painéis estruturais.

Figura 4: Componentes de um painel estrutural com abertura

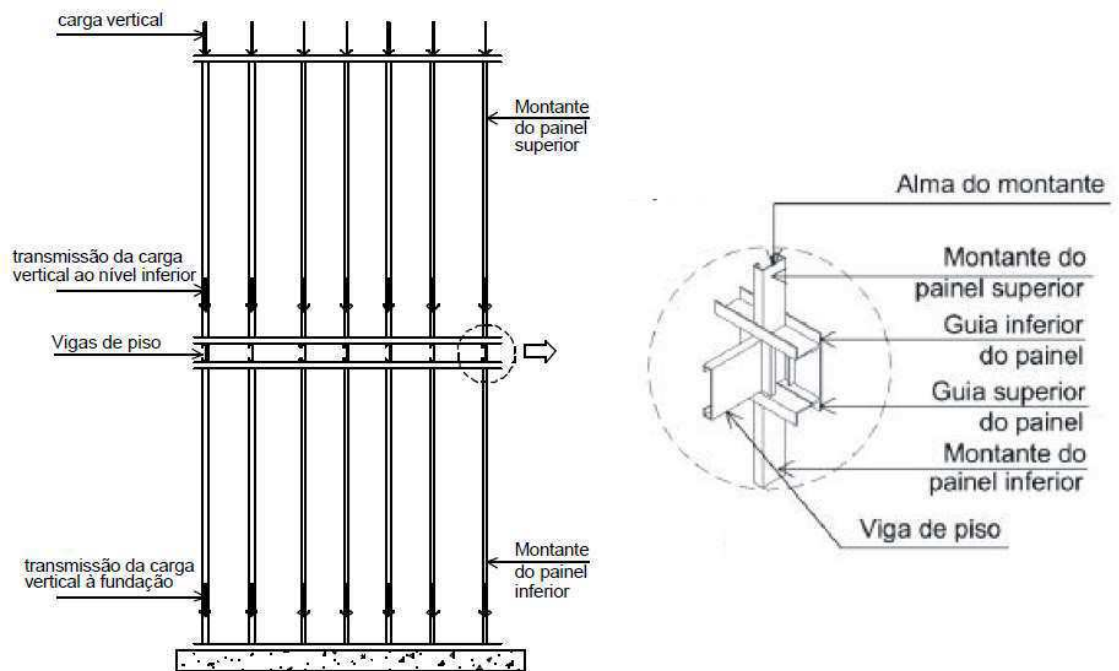


Fonte: CRASTO, 2005, p. 48.

2.1.3.1 Painéis

De acordo com o que foi explanado anteriormente, os painéis podem ser do tipo não-estruturais ou estruturais. Os painéis não estruturais tem como função a vedação externa, ou servir como elemento de divisão interna. Os estruturais tem o papel de resistir as cargas horizontais e verticais da edificação (ventos, sobrecargas de utilização, cargas de piso, telhado, peso próprio) e distribuí-las de maneira uniforme para a fundação. Os mesmos são formados basicamente por montantes e guias, que são perfis galvanizados em seções transversais “Ue” e “U”, respectivamente. Segundo Crasto (2005), os montantes são instalados verticalmente, espaçados de maneira uniforme entre si, variando entre 40 e 60 cm, enquanto as guias são postas horizontalmente, na base e no topo, para realizar o enquadramento dos montantes. Em alguns casos especiais onde os esforços são maiores, os montantes podem ser espaçados a 20 cm. Na Figura 5 é mostrado um esquema de distribuição do carregamento e um detalhamento dos elementos envolvidos.

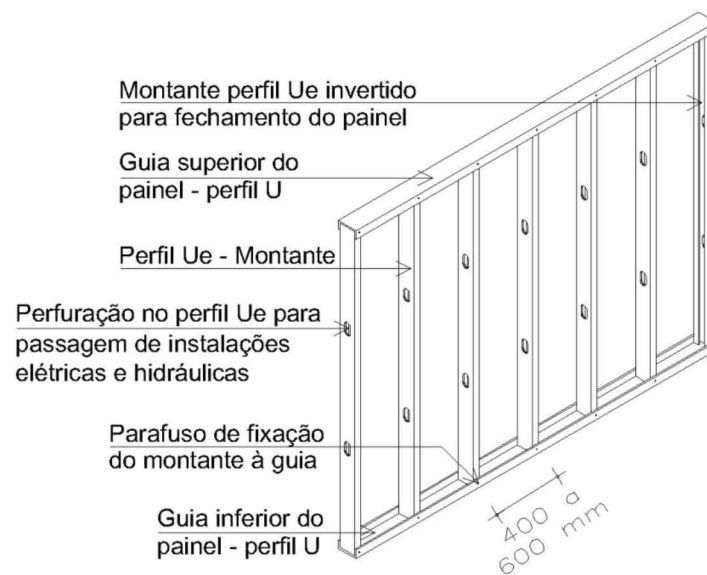
Figura 5: Transmissão de cargas verticais entre painéis



Fonte: CRASTO, 2005, p. 41.

Abaixo (Figura 6) é mostrado uma imagem de um painel estrutural com montantes e guias.

Figura 6: Painel típico sem abertura em Light Steel Framing



Fonte: CRASTO, 2005, p. 42.

2.1.4 Fundação

Como em todo projeto geotécnico a concepção da fundação depende da capacidade de carga do solo, da presença de água no mesmo, da topografia do terreno em questão, e do carregamento e peso próprio da edificação. Partindo do conceito que a distribuição das cargas no sistema LSF é contínua, a fundação também deverá ser contínua, e a mesma deve ser projetada e executada de maneira precisa para garantir uma melhor montagem e fixação do sistema estrutural e não estrutural.

Segundo Gomes (2007), a fundação mais frequente no sistema LSF é a do tipo *radier*, a qual se trata de uma fundação direta, que desempenha a função de transmitir os esforços da estrutura para o solo. Os painéis estruturais são fixados no *radier* por meio de uma ancoragem química com barra roscada colocada após a realização da fundação.

2.1.5 Fechamento e acabamento

Os fechamentos internos e externos de uma edificação em LSF são formados por componentes posicionados externamente à estrutura, e pelos próprios perfis metálicos. Os elementos de fechamento devem ser formados por componentes leve, para constituir um sistema com pouco peso próprio, de acordo com o conceito da estrutura. O fechamento vertical precisa ser um sistema racionalizado que proporcione uma obra rápida e seca. Já os materiais empregados devem atender aos critérios de habitabilidade, segurança, desempenho estrutural, resistência e reação ao fogo, estanqueidade à água, conforto termo-acústico, durabilidade e estética (GOMES, 2007).

Os produtos mais utilizados para o fechamento externo e interno são as placas OSB, as placas cimentícias e o gesso acartonado (para revestimento interno). De acordo com o manual da Caixa Econômica Federal, que estabelece as condições mínimas para o financiamento de empreendimentos de sistemas construtivos utilizando perfis estruturais formados a frio, são recomendados os seguintes fechamentos para edificações de até quatro pavimentos:

- Placa de gesso acartonado para paredes internas;

- Tela expandida de aço zincado com argamassa projetada, para paredes internas e externas;
- Chapa de OSB com barreira de vapor e tela de poliéster aplicadas sobre ela, e revestida com argamassa projetada, para paredes internas e externas;
- Placa cimentícia revestida com argamassa projetada ou outros revestimentos convencionais de cobertura, para paredes internas e externas.

As placas de OSB são formadas por tiras de madeira orientadas em camadas perpendiculares, ligadas por meio de resinas e prensadas em altas temperaturas. O seu uso é mais comum para fechamento externo dos painéis metálicos, nos forros, pisos e na cobertura. Segundo Gomes (2007). As placas de OSB são comercializadas nas dimensões de 1,22 m x 2,44 m com espessuras que variando entre 9, 12, 15 e 18 mm. As placas são transportadas manualmente e colocadas nos painéis por meio de parafusos auto-brocantes e autoatarraxantes. A espessura das placas é escolhida conforme o acabamento (argamassa ou *siding*), espaçamento entre montantes e se desempenha função estrutural (diafragma rígido).

Deve ser ressaltado que as placas de OSB precisam receber cuidados quanto a presença de água. É necessário realizar um revestimento impermeável nas mesmas através de uma manta de polietileno de alta densidade, que permite a passagem da umidade da parte interna do fechamento para o exterior, evitando a condensação no interior dos painéis. Na Figura 7, é mostrado um exemplo de aplicação de placas de OSB para fechamento vertical externo.

Figura 7: Placas de OSB usadas para fechamento externo



Em relação ao acabamento final, pode ser adotado o uso da argamassa para revestimento das placas, que consiste na aplicação da mesma sobre uma tela de galinheiro ou tela plástica resistente à alcalinidade. A tela deve ser colocada em duas camadas, e fixada por meio de grampos sobre a superfície do OSB impermeabilizada com a membrana de polietileno, de forma a garantir a aderência da argamassa e evitar futuras manifestações patológicas (GOMES, 2007).

De acordo com Gomes (2007) as placas cimentícias podem ser utilizadas como fechamento de painéis internos e externos (Figura 8), sendo mais recomendadas para áreas molháveis e expostas às intempéries. São compostas por uma mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. As vantagens dessa placa estão relacionadas com a elevada resistência a umidade e a impactos, o baixo peso próprio e a rapidez de execução na sua montagem.

Os acabamentos como pintura ou revestimentos podem ser executados diretamente sobre as placas. As placas são comercializadas nas dimensões que possuem largura fixa de 1,20 m e comprimentos que variam de 2,00 m, 2,40 m e 3,00 m. Sua espessura é determinada conforme a utilização, podendo variar entre 6 mm, 8 mm e 10 mm (GOMES, 2007).

Figura 8: Placas cimentícias utilizadas para fechamento externo



Fonte: IMBRALIT, 2019.

De acordo com a aplicação das placas cimentícias, faz-se necessário a aplicação de selador de base acrílica na face das paredes expostas às intempéries. Deve-se também fazer a

impermeabilização nas junções da parede com o piso para evitar a infiltração de água no interior dos painéis.

Segundo Gomes (2007), as placas de gesso acartonado, chamada também de *Drywall*, são utilizadas como fechamento vertical interno e no forro. São fabricadas industrialmente por meio da laminação de uma mistura entre gesso, água e aditivos, entre duas lâminas de cartão, e possuem algumas vantagens, como:

- Material leve;
- Qualidade e rapidez no acabamento e fechamento;
- Facilidade nas instalação hidráulicas e elétricas, bem como na manutenção.

As placas possuem largura de 1,20 metros e espessuras de 9,5 mm, 12,5 mm e 15 mm. O seu comprimento varia entre 1,8 m e 3,6 m. São comercializadas em três tipos, de acordo com a sua aplicação: Placas *Standard* (ST), placas resistente ao fogo (RF) e as resistentes a umidade (RU). O primeiro tipo de placa é usada para fechamento de áreas secas, e identificado, geralmente, na cor branca. O segundo é recomendado para ambientes que exigem maior desempenho contra o fogo, esse tipo de placa é identificada pela cor rosa. Por fim, as placas do tipo RU, conhecidas pela sua cor verde, são usadas em ambientes propensos a umidade. A Figura 9 a seguir mostra um exemplo de fechamentos utilizando *Drywall*.

Figura 9: Revestimento interno feito em *Drywall*

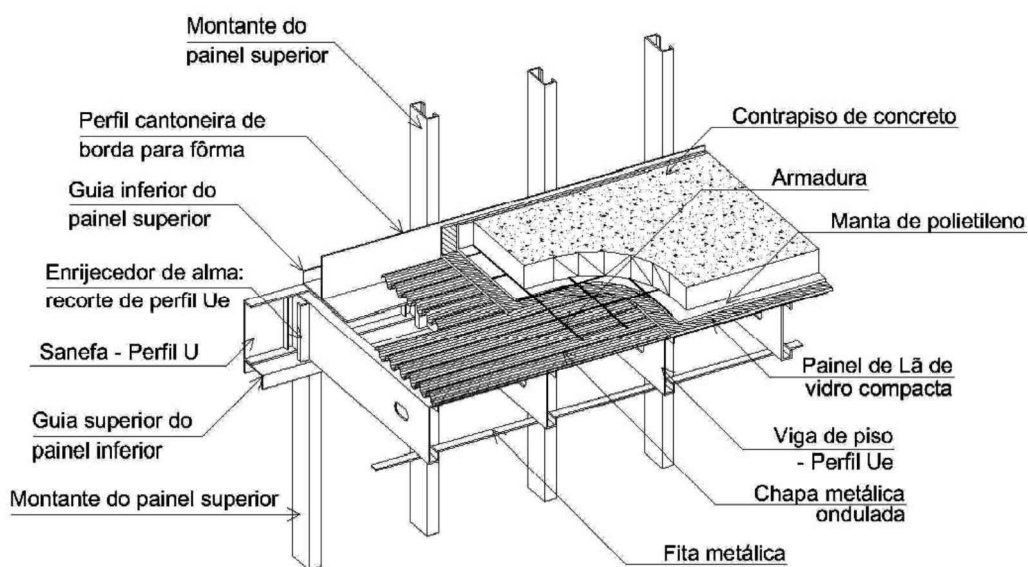


2.1.6 Lajes

De acordo com o tipo de contrapiso, a laje pode ser do tipo “seca” ou “úmida”, sendo a seca composta por placas rígidas de OSB (*Oriented Strand Board*) ou placas cimentícia fixadas na estrutura do piso por meio de parafusos. Para áreas molhadas, o uso da placa cimentícia é mais recomendado devido sua resistência à umidade (GOMES, 2007).

De acordo com Gomes (2007), a laje úmida (Figura 10) é formada por uma chapa metálica ondulada que desempenha a função de fôrma para uma camada de 4 a 6 cm de concreto simples que forma a superfície do contrapiso. Também deve-se utilizar material isolante, na região entre a fôrma metálica e o concreto. Nesse tipo de laje, emprega-se painéis de lã de vidro compacta protegido por um filme de polietileno, pois o concreto não está em completa adesão com a fôrma metálica, podendo gerar ruídos na utilização do piso.

Figura 10: Desenho esquemático de uma laje úmida



Fonte: CRASTO, 2005, p. 77.

2.1.7 Cobertura

Segundo Fransozo (2003), a cobertura deve ser projetada para suportar ações das intempéries, e a mesma pode ser composta de diversos tipos de materiais. Ainda segundo Fransozo, as telhas cerâmicas possuem um valor estético e tradicional, além de ser um ótimo

material para o revestimento da cobertura. Neste trabalho será utilizada a cobertura do tipo inclinada estruturada com tesouras ou treliças, e revestida com telhas cerâmicas, visto que esse tipo de configuração de cobertura já é bastante utilizado na construção civil brasileira.

2.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Atualmente o desenvolvimento sustentável vem exigindo cada vez mais projetos energeticamente eficientes, com o uso de materiais e técnicas modernas que proporcionem baixo impacto ambiental. Nesse contexto, a indústria da construção tem focado no desenvolvimento de sistemas de fechamento, paredes e cobertura com melhor desempenho térmico (SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011).

Dessa maneira, a definição de conforto térmico deve ser assimilado e empregado nas edificações. O conforto térmico diz respeito a sensação de bem estar sentida por uma determinada pessoa em um dado ambiente, e o mesmo não envolve apenas a temperatura. Existem outros fatores que devem ser levados em consideração, como a umidade relativa, velocidade e circulação do ar e outras.

A avaliação do desempenho térmico pode ser feita para ambientes ventilados naturalmente e ambientes condicionados por meio de equipamentos de condicionamento de ar. Para as edificações condicionadas naturalmente a avaliação consiste em verificar se as respostas térmicas dos ambientes internos atendem às exigências humanas de conforto térmico (GOMES, 2007, p. 70 apud AKUTSU, 1998; IPT, 1998).

Segundo Gomes (2007), as resposta térmicas de uma edificação em relação às condições típicas de exposição ao clima e de ocupação podem ser aferidas por meio de avaliação *in loco* das variáveis que englobam o desempenho térmico, ou pode ser realizada usando simulação computacional. A vantagem da simulação numérica está na possibilidade de se fazer um planejamento mais elaborado, diminuindo as chances de realizar futuras intervenções arquitetônicas e/ou uso de equipamentos de condicionamento de ar.

2.2.1 Parâmetros térmicos

O conhecimento dos parâmetros e propriedades térmicas dos materiais que compõem uma edificação é essencial para a realização do estudo de simulação do comportamento térmico da mesma. Algumas das propriedades mais relevantes serão mostradas a seguir, e as mesmas podem ser encontradas nos catálogos e tabelas dos fornecedores de materiais, ou concedidas por institutos de pesquisa da área.

A condutividade térmica é uma propriedade que está relacionada com a capacidade de condução de calor de um material, indicando a taxa pela qual a energia é transferida, ao longo de sua geometria, por meio do processo de difusão (INCROPERA, et al., 2008).

Segundo Gomes (2007), o desconforto térmico em uma região de clima tropical é na maioria das vezes proveniente do ganho de calor da edificação que é obtido a partir da absorção da energia solar que atinge a mesma. Sendo assim, o projeto arquitetônico deve ser concebido de forma que se preveja a proteção da radiação solar.

O calor específico é a quantidade de calor que precisa ser transferida a 1g de uma substância para que a sua temperatura seja acrescida em 1°C, sendo assim, a quantidade de calor varia de acordo com a substância em questão. Logo, o calor específico é um parâmetro de caracterização de materiais, de forma que quanto maior o calor específico do material, mais lentamente ele absorverá ou liberará energia de outro elemento (ALBUQUERQUE, et al., 1980).

A refletância à radiação solar pode ser definida como o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma. Já a absortância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Ou seja, a radiação que será refletida, depende da refletância da superfície e a fração que será absorvida pela mesma depende da absortância (ABNT, 2005a).

2.2.2 Avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas

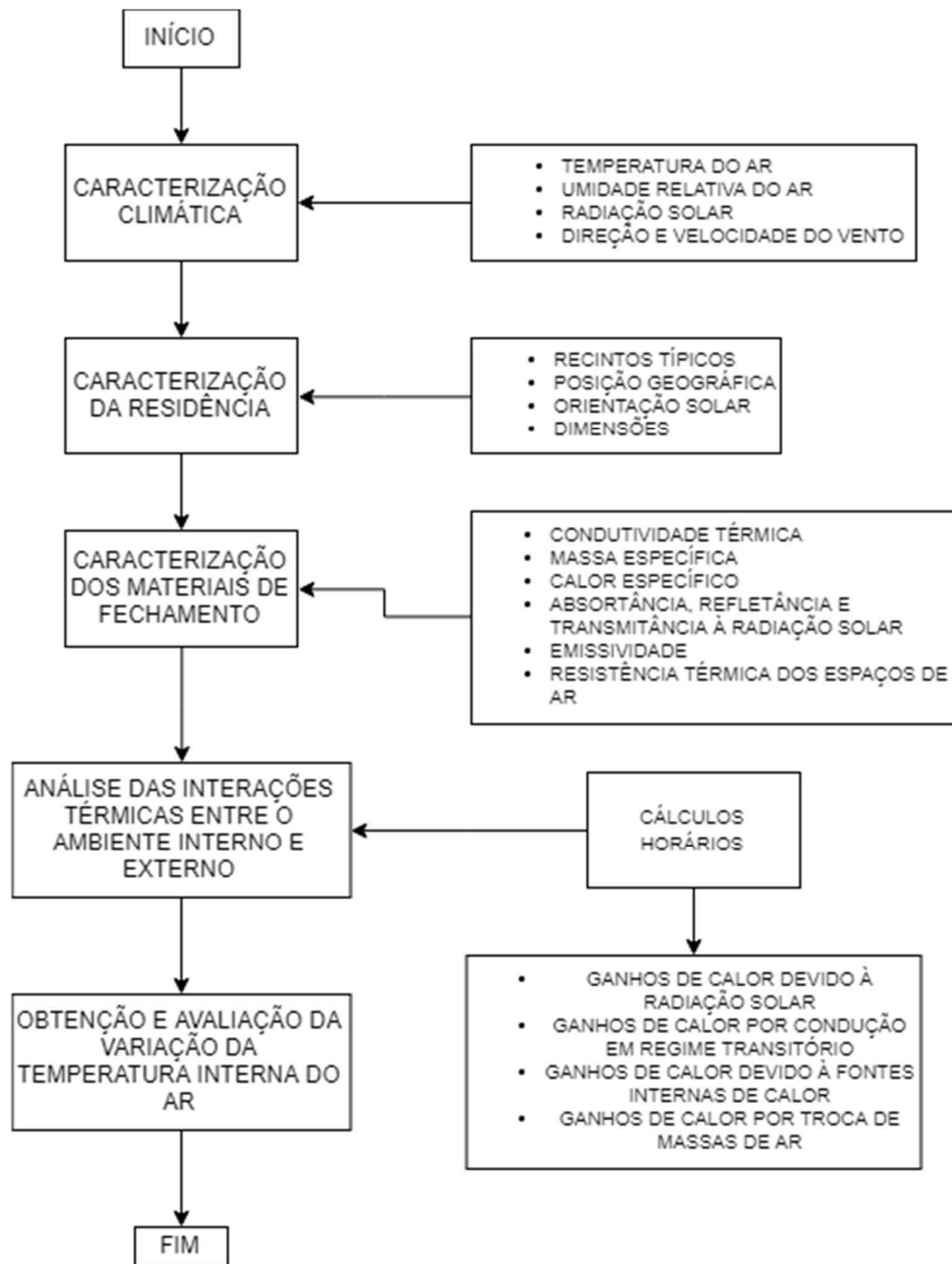
Uma edificação eficiente do ponto de vista energético precisa proporcionar conforto aos seus usuários, utilizando o menor consumo de energia possível ou até sem consumir energia. A

simulação numérica em softwares, permite prever o desempenho energético de um projeto arquitetônico de uma residência, e ainda conhecer o comportamento dos elementos construtivos utilizados. Também, é possível aprimorar os sistemas naturais e artificiais de iluminação e condicionamento, desde que seja conhecida a climatologia local (GOMES, 2007).

Os softwares utilizados para a simulação energética de edificações fazem o uso de modelos matemáticos complexos que permitem a simulação do efeito do armazenamento térmico e das trocas de calor. O desenvolvimento desses programas foi em virtude do grande número de parâmetros que estão compreendidos na simulação energética de um ambiente construído (PINTO, 2000). O programa computacional de simulação energética que será utilizado nesse trabalho será o *EnergyPlus*, o qual está vinculado dentro do software *OpenStudio*.

De acordo com Gomes (2007), os principais elementos que compõem os programas de simulação são mostrados no fluxograma da Figura 11.

Figura 11: Fluxograma dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação ventilada naturalmente



Fonte: adaptado de GOMES, 2007.

Segundo Fransozo (2003), as condições climáticas sob as quais a edificação está exposta é essencial para a avaliação térmica dos ambientes externo e interno, através da envoltória da edificação. Sendo assim, o ideal é realizar a caracterização do microclima local utilizando dados meteorológicos.

A caracterização da edificação deve ser feita em relação aos ambientes típicos, com as respectivas condições de ocupação dos mesmos, bem como sua posição geográfica, orientação

solar e suas dimensões. A forma de ocupação implicará nas principais fontes internas de calor, as quais são influenciadas pelo tempo de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes, taxas de liberação de energia térmica e de vapor d'água de equipamentos e processos no interior do recinto, taxas de ventilação do ambiente e uso de dispositivos de sombreamento de aberturas e fechamentos externos (IPT, 1998).

Os critérios para avaliação do desempenho térmico de uma edificação são tratados na norma ABNT NBR 15575:2013. A avaliação do nível de desempenho mínimo, intermediário e superior, é feita de acordo com os critérios de temperatura máxima no verão (Tabela 1), temperatura mínima no inverno (Tabela 2).

Tabela 1: Valores máximos de temperatura no verão

NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO	
	ZONAS 1 A 7	ZONA 8
M	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$
I	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 1 \text{ } ^\circ\text{C})$
S	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 4 \text{ } ^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$
<p>$T_i, \text{máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.</p> <p>$T_e, \text{máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>$T_i, \text{mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius</p> <p>$T_e, \text{mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575, 2013.

Tabela 2: Valores mínimos de temperatura no inverno

NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO	
	ZONAS BIOCLIMÁTICAS 1 A 5	ZONAS BIOCLIMÁTICAS 6, 7 E 8
M	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 3 \text{ } ^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 5 \text{ } ^\circ\text{C})$	
S	$T_i, \text{mín.} \geq (T_e, \text{mín.} + 7 \text{ } ^\circ\text{C})$	
<p>$T_i, \text{mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius</p> <p>$T_e, \text{mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3</p>		

Fonte: ABNT NBR 15575, 2013.

2.2.3 Variáveis do Ambiente Relacionadas ao Conforto Térmico

Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISSO 7730), as condições do ambiente relacionadas com o conforto térmico humano são caracterizadas pela temperatura externa e interna, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar. Essas propriedades sofrem variação em função de outros parâmetros, como a taxa metabólica de cada ocupante (ISO 2007 apud GOMES, 2012, p.31). Segundo a definição acima, entende-se que o conforto térmico está relacionado não apenas com valores de temperatura, mas também a outros fatores externos às condições de temperatura. Dessa forma, todos esses fatores influenciam a perda ou ganho de energia, ou seja, mesmo que a temperatura do ar e temperatura radiante média tenham maior importância, não é adequado e suficiente medir apenas esses.

Segundo a norma ABNT NBR 15575/2013, as temperaturas externas do ambiente onde se localiza a casa são os valores de referência para analisar o desempenho térmico das áreas internas da residência, bem como das superfícies internas e externas da mesma.

Em relação à temperatura das superfícies, existem basicamente dois conjuntos de resultados, uma vez que a transferência de calor nas mesmas é organizada em torno das suas faces interna e externas. A face interna é o lado de uma superfície de transferência de calor voltada para a zona térmica. A face externa é o lado de uma superfície de transferência de calor que fica voltada para longe da zona térmica, normalmente voltada para o exterior.

A biblioteca de materiais do programa *Energyplus*, desenvolvido pelo departamento de energia dos Estados Unidos, descreve que a temperatura média radiante (TRM) de um espaço é uma medida dos efeitos combinados das temperaturas das superfícies dentro desse espaço. Especificamente, é uma média ponderada da área da superfície em relação à absorção térmica da camada interna de material da mesma. Ainda segundo o programa, a temperatura média de cada zona térmica é dada a partir da média das temperaturas do ar ao longo do tempo. Portanto, existe uma temperatura média horária do ar que representa a temperatura da zona. Por sua vez, a temperatura interna do ar é influenciada por diversos fatores que são relacionados à taxa metabólica dos indivíduos e também os ganhos de calor interno devido a equipamentos e iluminação presentes em uma residência.

De acordo com a literatura do *EnergyPlus*, a taxa metabólica dos indivíduos determina a quantidade de geração de calor por pessoa na zona, sendo que esse ganho de calor irá variar de acordo com a atividade que se está realizando dentro do espaço em questão. Os valores das taxas metabólicas são expressos em Watts por pessoa, e descreve o ganho total de calor convectivo, radiante e latente por pessoa. O mesmo vale para os ganhos de calor interno provenientes de equipamentos elétricos ou de iluminação artificial, sendo que para esse último caso o ganho irá depender da potência em Watts ou em Lux, respectivamente, dos mesmos.

2.2.4 Softwares Energyplus – OpenStudio e Sketchup

O *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e para que o mesmo seja utilizado corretamente, deve-se ter os dados climáticos da região de interesse e realizar a caracterização geométrica da edificação, componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso. Com isso é possível simular no programa o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior (GOMES, 2007).

O *Energyplus* é um programa gratuito, para fins acadêmicos, de fácil acesso, permite o desenvolvimento de interfaces específicas, além disso, esse programa permite a simulação de edifícios com vários pavimentos e com formas arquitetônicas diversificadas. Fornece um banco de dados climáticos e de materiais construtivos e uma interface gráfica simples para a entrada de dados para a simulação, ainda exibe avisos de erros gerados durante a simulação e diversos

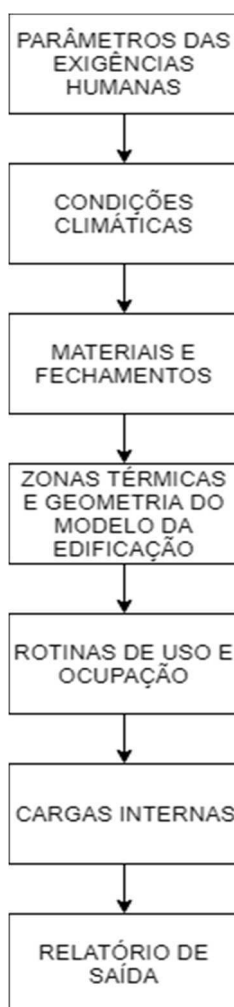
tipos de relatórios, como o de temperatura interna do ambiente de cada zona térmica (ATAÍDE, 2008).

Como foi mostrado anteriormente, atualmente o EnergyPlus está vinculado ao *OpenStudio*. O *OpenStudio* é uma ferramenta de plataforma cruzada que oferece suporte à modelagem de energia por meio de atuação conjunta com o *EnergyPlus*, o qual é integrado no seu próprio sistema. Vale ressaltar que as etapas e procedimentos necessários para realizar uma simulação no *OpenStudio* são as mesmas do *EnergyPlus*, uma vez que o primeiro é apenas uma ferramenta que permite, de uma forma mais simples e ágil, a entrada e saída de dados utilizados durante todo processo de simulação energética.

No âmbito das simulações energéticas, o *Sketchup* é um instrumento que permite realizar de maneira mais rápida a modelagem de residências, e possui uma excelente operabilidade conjunta com o *OpenStudio*. Sendo um software usado também para modelagem 3D de edificações, e uma ferramenta bastante difundida no contexto da Engenharia Civil.

2.2.5 Etapas da simulação

De acordo com Gomes (2012), as etapas que dizem respeito à simulação de uma edificação no programa *EnergyPlus* é mostrada na Figura 12.

Figura 12: Etapas da simulação no *EnergyPlus*

Fonte: Adaptado de GOMES, 2012.

- Exigências humanas:

Conforme a Figura 12 anteriormente mostrada, uma simulação usando o software EnergyPlus envolve etapas de entradas de dados sobre geometria da edificação estudada, materiais construtivos utilizados e configurações climáticas. Mas, existe também algumas informações essenciais que são externas ao programa, uma delas diz respeito à exigência do usuário. A norma técnica ABNT NBR 15575:2013, descreve que as exigências por parte dos usuários deve ser atendida durante todo o uso da edificação, e não deve se limitar apenas à sua fase construtiva. Nesse contexto, os agentes envolvidos na concepção de uma edificação devem cumprir critérios e responsabilidades na criação do projeto, na escolha de materiais e no processo de execução.

O desempenho térmico está intimamente relacionado com o nível de exigência dos usuários, sendo a edificação terá que ter qualidade e conforto térmico que satisfaça tais exigências. Como se trata de uma condição relativa ao usuário, não se pode definir um parâmetro universal de exigência térmica, uma vez que o que é aceitável para uma pessoa, pode não ser para outra. Nesse contexto, apesar da relatividade do assunto, a norma técnica ABNT NBR 15575:2013 traduz as exigências dos usuários em níveis de desempenho térmico que variam do Mínimo (M), passando pelo Intermediário (I), até o Superior (S). Sendo que esses níveis dependem das características locais da edificação (topografia, temperatura, umidade do ar, direção e velocidade do vento, materiais constituintes, número de pavimentos, dimensões dos cômodos e etc.).

- Condições Climáticas:

Em relação às características climáticas, o site do programa *Energyplus* fornece material climático de várias cidades do mundo. Alguns dados mais recentes de outras cidades também podem ser obtidos a partir da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (em inglês: “National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA”), que é uma instituição governamental americana que possui um banco de dados de arquivos meteorológicos usados para cálculos energéticos. Algumas informações climáticas da NOAA são disponibilizadas no site “Climate.OneBuilding”, que se trata de uma comunidade que fornece gratuitamente os dados climáticos de diversos países, com intuito de auxiliar no desenvolvimento de simulações de desempenho térmico. O próprio site do *Energyplus* indica essa comunidade para obter material climático das cidades do Brasil.

Os dados climáticos são usados para obter informações sobre o local onde se deseja aplicar a simulação. Os mesmos são disponibilizados em dois arquivos, o primeiro com a extensão EPW e o segundo DDY. O primeiro consiste em um arquivo de tempo (*EnergyPlus Weather File*) que contém dados meteorológicos de um período de um ano da região em questão. Segundo o próprio site do programa *EnergyPlus* o arquivo EPW contém dados climáticos e o conteúdo pode vir de várias formas diferentes, podendo ser do tipo AMY (Ano Meteorológico Real) ou TMY (Ano Meteorológico Típico). O arquivo do tipo DDY (*Design Day Data file*) é um dado de entrada que descreve os parâmetros para efetuar uma simulação do "dia do projeto", esse dia será usado para cálculos de cargas e equipamentos térmicos. Por meio desse arquivo o *EnergyPlus* elabora dias completos com suas respectivas informações climáticas (temperatura do ar, radiação solar etc).

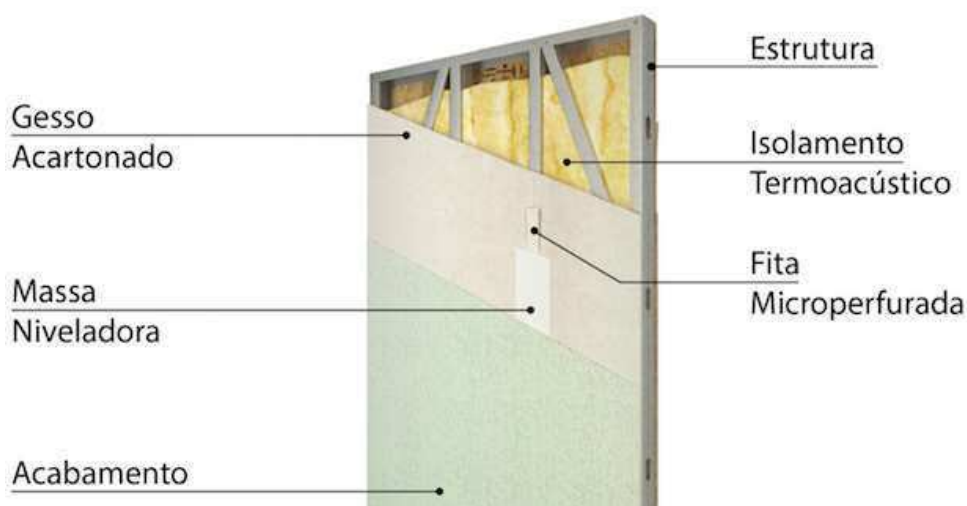
- Materiais e Fechamentos:

A escolha dos materiais utilizados está intimamente ligada ao desempenho térmico da edificação, uma vez que as propriedades dos mesmos podem ou não oferecer um bom conforto. Segundo o tema desse trabalho, o fechamento utilizado será por meio de painéis, conforme o sistema construtivo *light steel frame*. Esses painéis também possuem função estrutural. Dessa forma, para os dois casos os mesmos precisam ser instalados de forma que garantam o conforto dos usuários, logo, é necessário que os painéis sejam utilizados juntamente com outros materiais de revestimento e isolamento

No Brasil, o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE), que foi criado em 1996 pelo Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, possui uma grande biblioteca de materiais e suas respectivas características, além de ser referência nacional no setor energético. Sendo assim, os componentes escolhidos para este estudo foram baseados no banco de dados de materiais do LabEEE.

Nas Figuras 13 e 14, são apresentados exemplos de dois painéis genéricos, para ambientes externos e internos, com os respectivos materiais que normalmente são usados nesse tipo de sistema construtivo.

Figura 13: Modelo genérico de parede interna em *light steel frame*.



Fonte: GOUVÊA, 2015.

Figura 14: Modelo genérico de parede externa em *light steel frame*.



Fonte: GOUVÊA, 2015.

- Zonas Térmicas e Geometria da Edificação:

Levando em consideração o zoneamento bioclimático brasileiro, a norma ABNT NBR 15220-2 mostra a carta bioclimática de Campina Grande com seu clima classificado dentro da zona bioclimática 8. Levando em consideração a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), organização dos profissionais da área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado dos Estados Unidos, a zona climática que mais se adéqua a Campina Grande seria a Zona 1B, pois se trata de uma região de clima predominantemente quente e seco. A ASHRAE ainda classifica algumas cidades brasileiras cujos climas são equiparáveis ao de Campina Grande. Essas cidades e suas respectivas classificações são mostradas na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: International Climate Zones

<i>City (Province or Region)</i>	<i>Zone</i>
Belem	1
Brasilia	2
Fortaleza	1
Porto Alegre	2
Recife/Curado	1
Rio de Janeiro	1
Salvador/Olinda	1
São Paulo	2

Fonte: ASHRAE 90.1, 2007.

- Rotinas de Uso e Ocupação e Cargas Internas:

Nem todo aumento de temperatura de um local é influenciado por condições ambientais externas, existem também os ganhos internos de calor, que por sua vez são causados pelo próprio calor gerado por pessoas, equipamentos elétricos, luzes e vários outros tipos de elementos.

As zonas térmicas de uma edificação se tratam de ambientes que possuem volume de ar em temperatura uniforme. Nesse cenário, as mesmas podem ser divididas de acordo com sua utilização e ocupação. Dessa forma, pode-se obter resultados específicos para cada uma delas (GOMES, 2007).

Em relação ao uso de equipamentos em cada zona térmica, é prudente considerar um dia típico no qual o mesmo seja intenso, implicando em um cenário onde o aumento da temperatura interna de cada zona devido a utilização seja máximo. A ocupação diz respeito a quantidade de pessoas dentro da edificação, ou seja, a porcentagem de pessoas que preenche determinado ambiente em um certo horário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia que foi utilizada neste trabalho diz respeito ao estudo de caso. Esse tipo de metodologia busca, por meio de dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, explicar fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. É caracterizada por ser um estudo detalhado e exaustivo de poucos objetos, fornecendo conhecimentos profundos sobre os mesmos. (EISENHARDT, 1989; YIN, 2009, apud BRANSKI, 2010). Neste capítulo será descrita a sequência de etapas que precedem a simulação térmica.

- Elaboração de uma planta baixa para avaliação de seu desempenho térmico. Em um primeiro momento foi definido um projeto base de uma edificação típica do programa Minha Casa Minha Vida da Caixa Econômica Federal. Este programa está inserido no contexto de edificações unifamiliares de baixo custo, e na maioria dos casos, voltada para população da classe C brasileira. Esse projeto foi utilizado como modelo de referência para a criação do projeto que será usado neste trabalho. O qual diz respeito a uma edificação para uma família de quatro integrantes. O item 3.1 descreve a planta criada para este estudo.

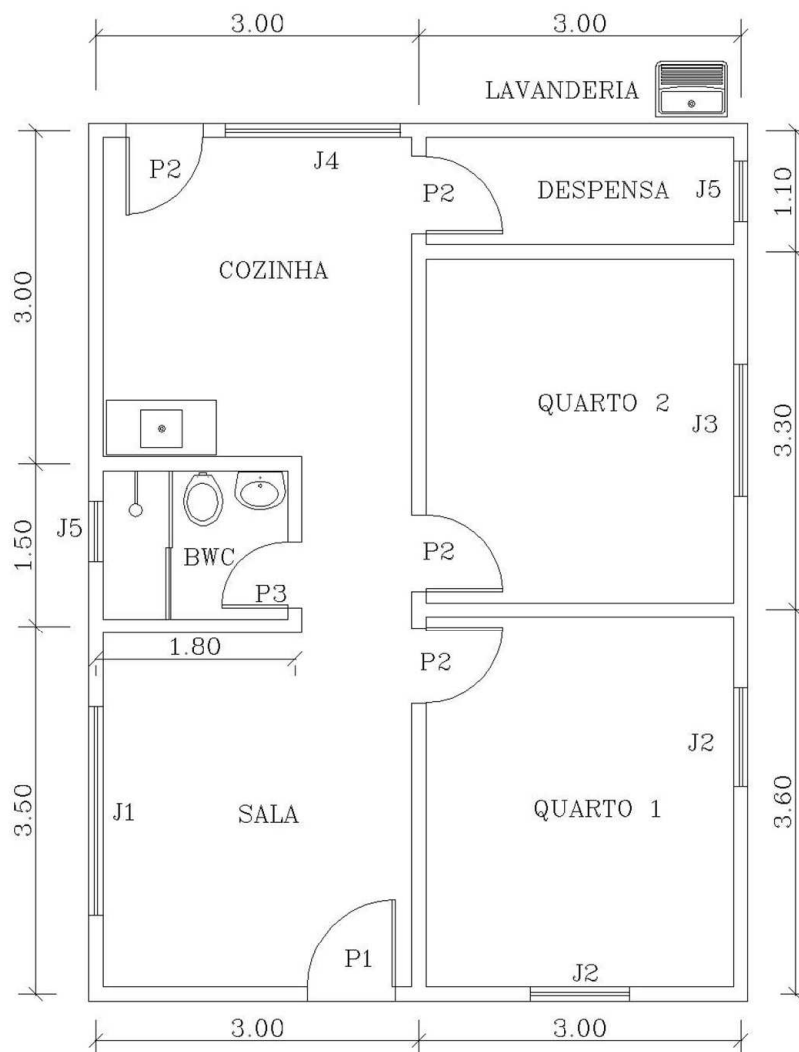
- Modelagem 3D da planta utilizando o software *Sketchup* (item 3.2). Após a definição da planta baixa, foi realizada a sua modelagem. A modelagem no *Sketchup* proporciona uma maior agilidade na caracterização das superfícies geométricas da residência, uma vez que sem o uso desse software a geometria da casa seria definida ponto a ponto por meio de coordenadas geométricas.

- Aplicação do software *Energyplus* (inserido no sistema do *OpenStudio*) para realizar a avaliação do desempenho térmico. Conforme dito anteriormente, para se fazer essa avaliação no software, é necessário a caracterização de diversos fatores. Conhecendo o perfil e as exigências dos usuários quanto ao conforto térmico, foram especificadas as condições climáticas do local, as propriedades e parâmetros dos materiais construtivos, bem como o arranjo dos mesmos em relação ao fechamento externo da edificação. Por fim, é definido o perfil ocupacional da residência e suas cargas internas de calor. Esses procedimentos serão mostrados no item 3.3.

3.1 ELABORAÇÃO DE PLANTA BAIXA RESIDENCIAL

Conforme projeto base de uma residência do programa Minha Casa Minha Vida, a Figura 15 mostra a planta baixa utilizada para a realização do estudo térmico, a qual possui uma área total de 48 m². A Tabela 4 descreve as suas áreas.

Figura 15: Planta baixa da residência usada na simulação térmica



PLANTA BAIXA

* TODAS AS MEDIDAS EM METROS

ESQUADRIAS				
TIPO	ALT.	LARG.	PEIT.	ESPECIFICAÇÃO
P1	2.10	0.80	-	ABRIR
P2	2.10	0.80	-	ABRIR
P3	2.10	0.80	-	ABRIR
J1	1.20	1.90	1.00	CORRER
J2	1.20	1.00	1.00	CORRER
J3	1.20	1.20	1.00	CORRER
J4	0.80	1.60	1.40	BASCULANTE
J5	0.80	0.60	1.70	BASCULANTE

Fonte: O autor (2019).

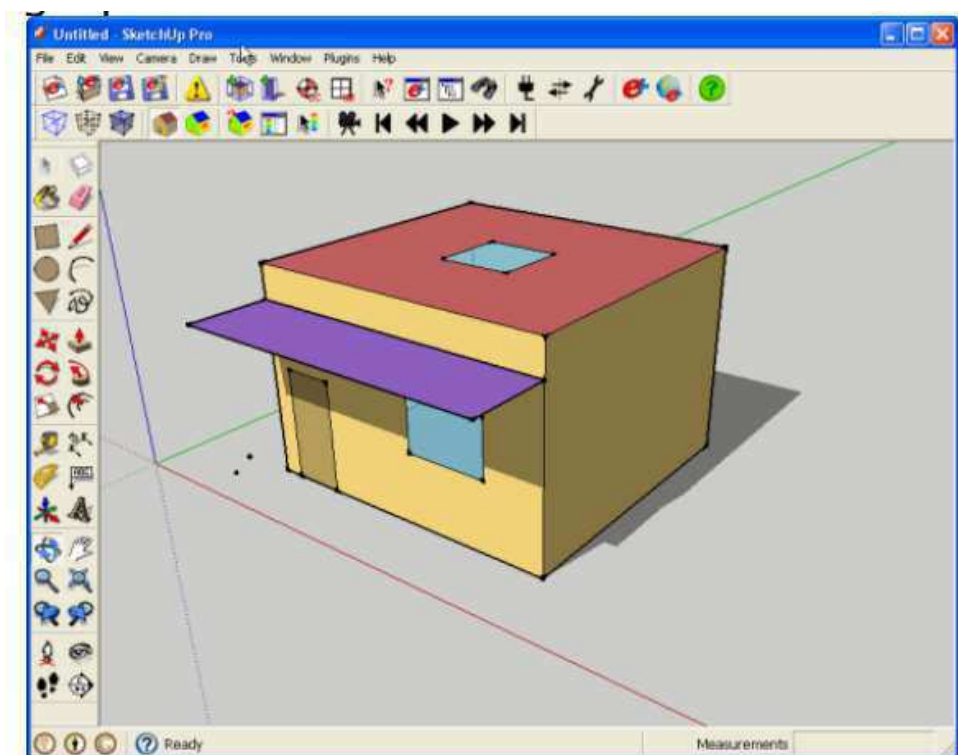
Tabela 4: Cômodos da residência utilizada na simulação

Casa - Simulação		
Ambiente	Permanência adotada	Área (m ²)
Quarto 1	Prolongada	10,80
Quarto 2	Prolongada	9,90
Sala	Prolongada	10,50
Cozinha	Prolongada	9,00
Banheiro	Transitória	2,70
Despensa	Transitória	3,30

Fonte: O autor (2019).

3.2 MODELAGEM DA PLANTA EM 3D

Do ponto de vista de projeto, é oneroso desenvolver a geometria da residência a partir da introdução de coordenadas 3D diretamente no *Energyplus*. Sendo assim, utilizou-se o programa de modelagem 3D *Sketchup*. A Figura 16 mostra um exemplo de uma modelagem simples de uma edificação.

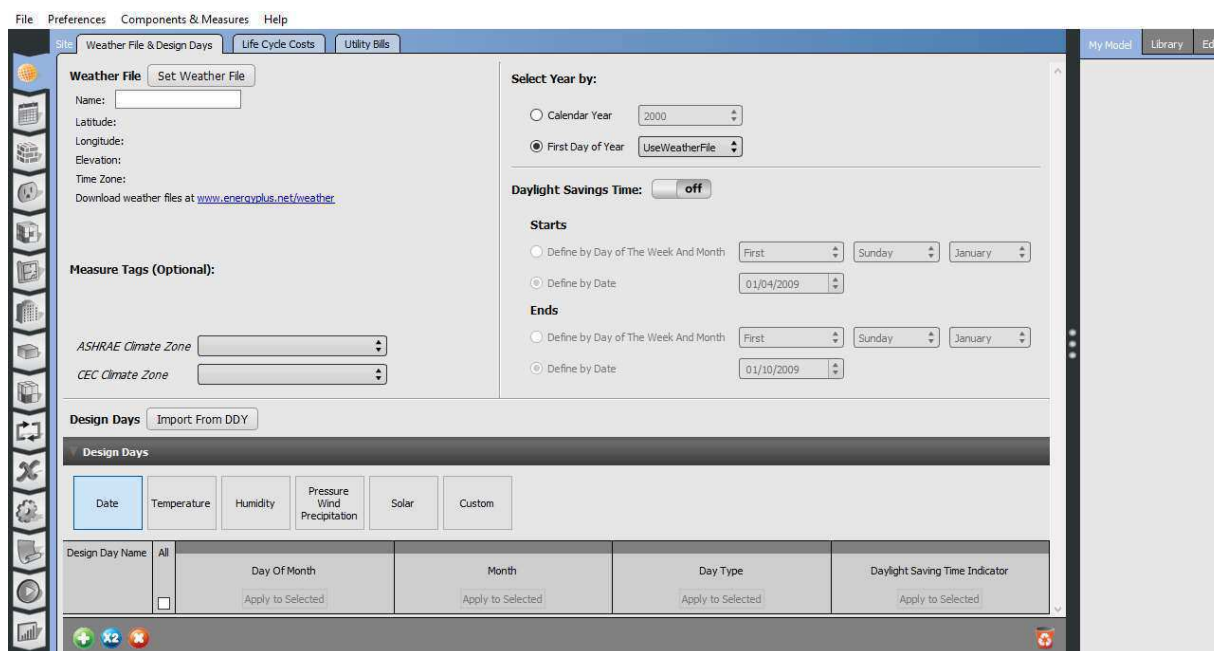
Figura 16: Modelagem de uma zona térmica no *Sketchup*

Fonte: VERSAGE; LAMBERTS, 2019.

3.3 APLICAÇÃO DOS SOFTWARES OPENSTUDIO E ENERGYPLUS

Conforme dito, foi utilizado o programas de simulação *OpenStudio* versão 2.7.0 (Figura 17), que já possui integrado em seu sistema o software *Energyplus*. Por se tratar de uma iniciativa *Open Source* os softwares são disponibilizados gratuitamente.

Figura 17: Interface do usuário do programa *OpenStudio*.



Fonte: O autor (2019).

3.3.1 Dados Climáticos de Campina Grande – PB.

A partir do banco de dados do “Climate.OneBuilding” foram obtidos os dados de entrada necessários para realizar a caracterização climática das temperaturas dos dias típicos de verão da cidade de Campina Grande – PB. Sendo que para os dados do tipo EPW foi utilizado um intervalo de dados climáticos dos anos de 2003 a 2017, com a extensão TMY que diz respeito ao ano meteorológico típico desse intervalo, que por sua vez foi o ano de 2009. Ainda foi definido o dia 14 de Janeiro desse mesmo ano como dia típico de verão usado na análise das variáveis térmicas.

3.3.2 Propriedades Térmicas dos Materiais Construtivos

De acordo com Gomes (2007), a Tabela 5 a seguir especifica os materiais usados.

Tabela 5: Propriedades dos materiais utilizados

Propriedades dos Materiais Construtivos						
Nome	Espessura (m)	Rugosidade	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg.K)	Coef. Absorção Térmica
Placa Cimentícia	0,011	Meio Rugoso	0,95	2200	840	0,9
Placa OSB	0,0111	Meio Rugoso	0,12	550	2300	0,9
Placa Gesso Acartonado	0,0125	Suave	0,35	1000	840	0,9
Lã de Vidro	0,09	Rugoso	0,045	100	700	0,9
Laje de Concreto	0,12	Rugoso	1,75	2500	1000	0,9
Telha Cerâmica	0,01	Rugoso	1,05	2000	920	0,9
Madeira	0,025	Meio Rugoso	0,15	608	1400	0,9

Fonte: Gomes, 2007.

A escolha do coeficiente de absorção térmica, foi estabelecida de forma a abranger a situação mais desfavorável, ou seja, cores escuras nos ambientes.

As propriedades dos vidros utilizados nas janelas foram obtidas da biblioteca de materiais do *Energyplus* versão 9.0.0, as mesmas são mostradas a seguir na Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades dos vidros utilizados

Propriedades do vidro utilizado nas janelas	
Nome	Vidro comum
Espessura (m)	0,006
Transmitância com incidência solar normal	0,775
Refletância superfície frontal e oposta, com incidência solar normal	0,071
Transmitância na faixa do visível com incidência normal	0,881
Refletância na faixa do visível, superfície frontal e oposta, incidência normal	0,08
Transmitância na faixa do infravermelho com incidência normal	0
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho, superfície frontal e oposta	0,84
Condutividade térmica (W/m.K)	0,9
Fator de correção e transmitância na faixa do visível	1
Difusão solar	Não

Fonte: ENERGYPLUS 9.0.0, 2018.

3.3.3 Descrição da Tipologia dos Elementos Construtivos Utilizados

O material utilizado nesse estudo para o isolamento térmico para ambientes internos e externos foi a lã de vidro, pois a mesma é um componente isolante bastante difundido na construção civil. Em relação ao fechamento externo, foi utilizada uma camada de placa OSB e outra de placa cimentícia, e para o tratamento externo aplicou-se uma camada de base usada como fundo preparador (*base coat*) e o acabamento final com pintura. Já para o fechamento interno será usado uma camada de placa cimentícia, e para o acabamento uma camada de gesso acartonado. Para os casos de paredes internas de áreas molhadas será utilizado o gesso acartonado hidrofugante. A Figura 18 e as Tabelas 7 e 8 a seguir exemplifica a composição dos painéis usados nesse estudo.

Figura 18: Corte em planta do painel construtivo.



Fonte: O autor (2019).

Tabela 7: Painéis de fechamento externo

Painéis de fechamento externo		
Elemento	Material Usado	Espessura (m)
Painel em Steel Frame	Pintura e Base Coat	0,004
	Placa Cimentícia	0,011
	Placa OSB	0,0111
	Lã de Vidro	0,09
	Placa Cimentícia	0,011
	Gesso Acartonado	0,0125
Espessura Total (cm)		13,96

Fonte: O autor (2019).

Tabela 8: Painéis de fechamento interno

Painéis de fechamento interno		
Elemento	Material Usado	Espessura (m)
Painel em Steel Frame	Gesso Acartonado	0,0125
	Placa Cimentícia	0,0111
	Lã de Vidro	0,09
	Placa Cimentícia	0,011
	Gesso Acartonado	0,0125
Espessura Total (cm)		13,71

Fonte: O autor (2019).

Os demais elementos construtivos (portas, janelas, telhado, piso e teto) foram definidos de acordo com os materiais citados no item 3.3.2 acima. A Tabela 9 mostra a composição desses elementos.

Tabela 9: Elementos construtivos de fechamento externo

Elementos de fechamento externo		
Elemento	Material Usado	Espessura (m)
Porta	Madeira	0,025
Janela	Vidro comum	0,006
Telhado	Telha cerâmica	0,01
Piso	Laje de concreto	0,12
Teto	Laje de concreto	0,12

Fonte: O autor (2019).

Em relação ao painel de fechamento externo mostrado na Figura 18, o acabamento externo realizado com pintura e a camada de revestimento argamassada (*Base Coat*) não foram levados em consideração para a simulação.

3.3.4 Cronograma de Atividades e Rotinas de Uso de Equipamentos

Conforme mostrado, as fontes de calor internas precisam ser levadas em consideração para que a simulação represente melhor a situação real. Dessa forma, foram adotados os cronogramas de atividades dos residentes da casa e o uso dos equipamentos elétricos pelos mesmos (Tabela 10 à Tabela 17).

Tabela 10: Cronograma de atividades do Quarto 1

Cronograma de Atividades - Quarto 1 (10,80 m²)				
Atividade	Horário	Taxa Metabólica por pessoa (W/pessoa)	Ocupação (pessoa)	Ganho total de Calor (W)
Dormir	23:00 - 9:00	72	2	144,00
Limpar quarto	9:00 - 9:30	360	1	360,00
Ler, sentado	9:30 - 11:00	99	1	99,00
Escrever, sentado	11:00 - 12:00	108	1	108,00
-	12:00 - 13:00	0	0	0
Dormir	13:00 - 15:00	72	1	72,00
Sentar-se reclinado	15:00 - 18:00	81	1	81,00
-	18:00 - 19:00	0	0	0
Digitar, sentado	19:00 - 21:00	108	2	216,00
Ler sentado	21:00 - 23:00	99	2	198,00

Fonte: O autor (2019).

Tabela 11: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial do Quarto 1

Cronograma de Uso de Equipamentos elétricos e iluminação artificial - Quarto 1 (10,80 m²)					
Horário	Lâmpadas ligadas (quant.)	Ganho de Calor Luz (W)	TV's Ligadas (quant.)	Ganho de Calor TV (W)	Ganho total de calor (W/m²)
23:00 - 9:00	0	0	0	0	0
9:00 - 9:30	0	0	0	0	0
9:30 - 11:00	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	0	0	0
13:00 - 15:00	0	0	0	0	0
15:00 - 18:00	0	0	1	400	37,037
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0
19:00 - 21:00	1	324	0	0	30,000
21:00 - 23:00	1	324	0	0	30,000

Fonte: O autor (2019).

Tabela 12: Cronograma de atividades do Quarto 2

Cronograma de Atividades - Quarto 2 (9,90 m²)				
Atividade	Horário	Taxa Metabólica por pessoa (W/pessoa)	Ocupação (pessoa)	Ganho total de Calor (W)
Dormir	23:00 - 9:00	72	2	144,00
Limpar quarto	9:00 - 9:30	360	1	360,00
Ler, sentado	9:30 - 11:00	99	1	99,00
Escrever, sentado	11:00 - 12:00	108	1	108,00
-	12:00 - 13:00	0	0	0
Dormir	13:00 - 15:00	72	1	72,00
Sentar-se reclinado	15:00 - 18:00	81	1	81,00
-	18:00 - 19:00	0	0	0
Digitar, sentado	19:00 - 21:00	108	2	216,00
Ler sentado	21:00 - 23:00	99	2	198,00

Fonte: O autor (2019).

Tabela 13: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial do Quarto 2

Cronograma de Uso de Equipamentos elétricos e iluminação artificial - Quarto 1 (9,90 m²)					
Horário	Lâmpadas ligadas (quant.)	Ganho de Calor Luz (W)	TV's Ligadas (quant.)	Ganho de Calor TV (W)	Ganho total de calor (W/m²)
23:00 - 9:00	0	0	0	0	0
9:00 - 9:30	0	0	0	0	0
9:30 - 11:00	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	0	0	0
13:00 - 15:00	0	0	0	0	0
15:00 - 18:00	0	0	1	400	40,404
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0
19:00 - 21:00	1	324	0	0	32,727
21:00 - 23:00	1	324	0	0	32,727

Fonte: O autor (2019).

Tabela 14: Cronograma de atividades da Sala

Cronograma de Atividades - Sala (10,50 m²)				
Atividade	Horário	Taxa Metabólica por pessoa (W/pessoa)	Ocupação (pessoa)	Ganho total de Calor (W)
-	23:00 - 9:00	0	0	0,00
Limpar sala	9:00 - 9:30	360	1	360,00
Sentar-se	9:30 - 11:00	99	1	99,00
Sentar-se	11:00 - 12:00	108	1	108,00
-	12:00 - 13:00	0	0	0
Sentar-se	13:00 - 15:00	108	2	216,00
Sentar-se reclinado	15:00 - 18:00	81	1	81,00
-	18:00 - 19:00	0	0	0
Digitar, sentado	19:00 - 21:00	0	0	0,00
Ler sentado	21:00 - 23:00	0	0	0,00

Fonte: O autor (2019).

Tabela 15: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial da Sala

Cronograma de Uso de Equipamentos elétricos e iluminação artificial - Sala (10,50 m²)					
Horário	Lâmpadas ligadas (quant.)	Ganho de Calor Luz (W)	TV's Ligadas (quant.)	Ganho de Calor TV (W)	Ganho total de calor (W/m²)
23:00 - 9:00	0	0	0	0	0
9:00 - 9:30	0	0	0	0	0
9:30 - 11:00	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	0	0	0
13:00 - 15:00	0	0	1	400	38,095
15:00 - 18:00	0	0	1	400	38,095
18:00 - 19:00	0	0	0	0	0
19:00 - 21:00	1	315	0	0	30,000
21:00 - 23:00	1	315	0	0	30,000

Fonte: O autor (2019).

Tabela 16: Cronograma de atividades da Cozinha

Cronograma de Atividades - Cozinha (9,00 m ²)				
Atividade	Horário	Taxa Metabólica por pessoa (W/pessoa)	Ocupação (pessoa)	Ganho total de Calor (W)
-	23:00 - 9:00	0	0	0,00
Limpar cozinha	9:00 - 9:30	360	1	360,00
Cozinhar	9:30 - 11:00	207	1	207,00
Limpar cozinha	11:00 - 12:00	360	1	360,00
Sentar-se	12:00 - 13:00	108	4	432
-	13:00 - 15:00	0	0	0,00
Cozinhar	15:00 - 18:00	207	1	207,00
Sentar-se	18:00 - 19:00	108	4	432
-	19:00 - 21:00	0	0	0,00
-	21:00 - 23:00	0	0	0,00

Fonte: O autor (2019).

Tabela 17: Cronograma equipamentos elétricos e iluminação artificial da Cozinha

Cronograma de Uso de Equipamentos elétricos e iluminação artificial - Cozinha (9,00 m ²)							
Horário	Lâmpadas ligadas (quant.)	Ganho de Calor Luz (W)	Geladeiras Ligadas (quant.)	Ganho de Calor geladeira (W)	Fogão Ligado (quant.)	Ganho de Calor fogão (W)	Ganho total de calor (W/m ²)
23:00 - 9:00	0	0	1	300	0	0	33,333
9:00 - 9:30	0	0	1	300	0	0	33,333
9:30 - 11:00	0	0	1	300	1	4000	477,778
11:00 - 12:00	0	0	1	300	0	0	33,333
12:00 - 13:00	0	0	1	300	0	0	33,333
13:00 - 15:00	0	0	1	300	0	0	33,333
15:00 - 18:00	0	0	1	300	1	4000	477,778
18:00 - 19:00	1	324	1	300	0	0	69,333
19:00 - 21:00	0	0	1	300	0	0	33,333
21:00 - 23:00	0	0	1	300	0	0	33,333

Fonte: O autor (2019).

3.3.5 Ganhos Internos de Calor

A Tabela 18 e a Tabela 19 a seguir, definem os ganhos internos de calor levado em consideração nesse estudo.

Tabela 18: Ganho interno de calor devido a atividade humana

Ganhos interno de calor - Atividades	
Atividade	Ganho de calor (W/pessoa)
Dormir	72
Sentar-se reclinado	81
Sentar-se	108
Ficar de pé, relaxado	126
Caminhar em superfície nivelada (0,9 m/s)	207
Ler, sentado	99
Escrever, sentado	108
Digitar, sentado	108
Cozinhar	171 - 207
Limpar casa	207-360

Fonte: ASHRAE 55, 2004.

Tabela 19: Ganhos internos de calor devido a luz e equipamentos elétricos

Ganhos interno de calor - Equipamentos elétricos	
Equipamento	Ganho de calor
Luz incandescente - 300 lux	30 W/m ²
Geladeira doméstica	300 W
Fogão elétrico	4000 W
Televisão	400 W

Fonte: ABNT 16401-1, 2008.

3.3.6 Definições de Cargas Internas

As Tabelas 20, 21 e 22, mostradas a seguir, dizem respeito às definições das cargas internas de calor da residência.

Tabela 20: Cargas internas devido a pessoas

Definições de Cargas Internas - Pessoas			
Cômodo	Nº máx. pessoas	Área (m²)	Pessoas por área (pessoa/m²)
Quarto 1	2	10,8	0,185
Quarto 2	2	9,9	0,202
Sala	2	10,5	0,190
Cozinha	4	9	0,444

Fonte: O autor (2019).

Tabela 21: Cargas internas devido a luz

Definições de Cargas Internas - Luz			
Cômodo	Potência luz (W)	Área (m ²)	Potencia por área (W/m ²)
Quarto 1	30	10,8	2,778
Quarto 2	30	9,9	3,030
Sala	30	10,5	2,857
Cozinha	30	9	3,333

Fonte: O autor (2019).

Tabela 22: Cargas internas devido a equipamentos elétricos

Definições de Cargas Internas - Equipamentos				
Cômodo	Equipamento	Potência (W)	Área (m ²)	Potencia por área (W/m ²)
Quarto 1	TV	400	10,8	37,037
Quarto 2	TV	400	9,9	40,404
Sala	TV	400	10,5	38,095
Cozinha	Geladeira	300	9	33,333
	Fogão	4000	9	444,444

Fonte: O autor (2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentado, em um primeiro momento, a modelagem 3D da edificação escolhida. Após isso será feito uma análise do conforto térmico, em relação à temperatura interna de cada zona, de acordo com a norma ABNT NBR 15575/2013, ressaltando que será levada em consideração a temperatura do ambiente externo como fator de comparação. Essa análise tomará como base algumas variáveis de temperatura interna e externa que influenciam no conforto térmico e na temperatura final de cada cômodo da casa.

Em resumo, as variáveis analisadas serão:

- Temperatura de bulbo seco ao ar livre (temperatura externa à casa);
- Taxa de ganho de calor por convecção devido a cargas internas de calor de cada zona;
- Temperatura radiante média de cada zona;

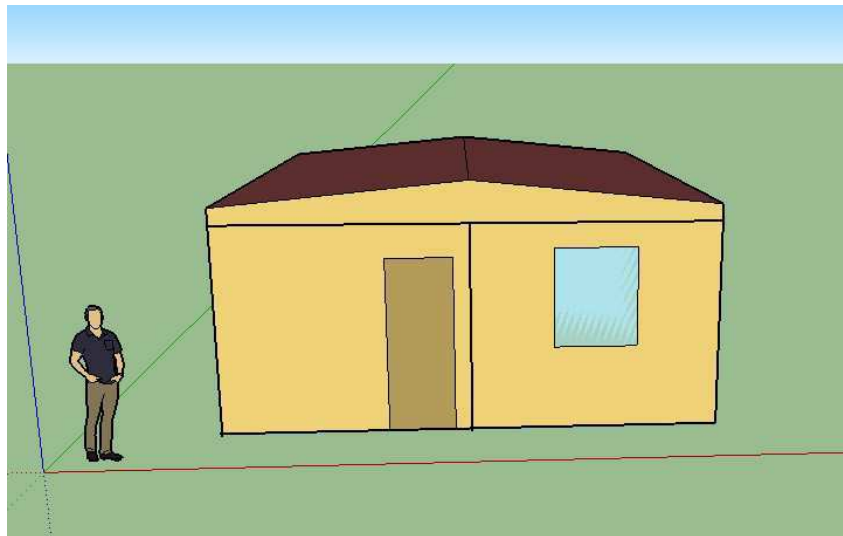
- Temperatura interna de cada zona.

Os dados de temperatura levados em consideração para a análise serão referentes apenas aos dias típicos de verão. Pois, a norma de desempenho térmico preconiza que para residências localizadas na zona bioclimática 8, dispensa-se a análise de desempenho dos valores mínimos de temperatura no inverno. Por fim, foram feitas algumas proposições para melhoria do desempenho térmico da casa.

4.1 MODELAGEM 3D DA RESIDÊNCIA

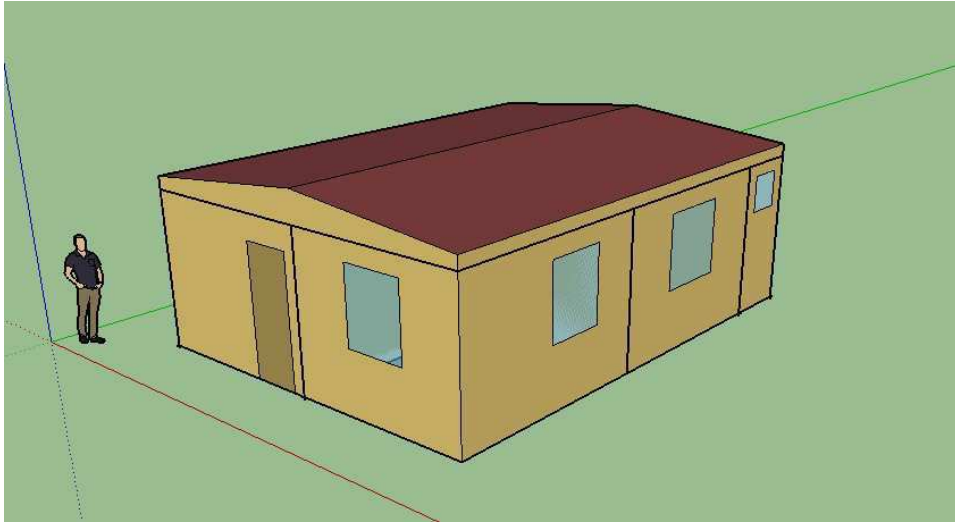
A partir do Sketchup foi realizado a modelagem da edificação, e a mesma é mostrada a seguir nas Figuras 19 à 24.

Figura 19: Face frontal da residência voltada para o sul



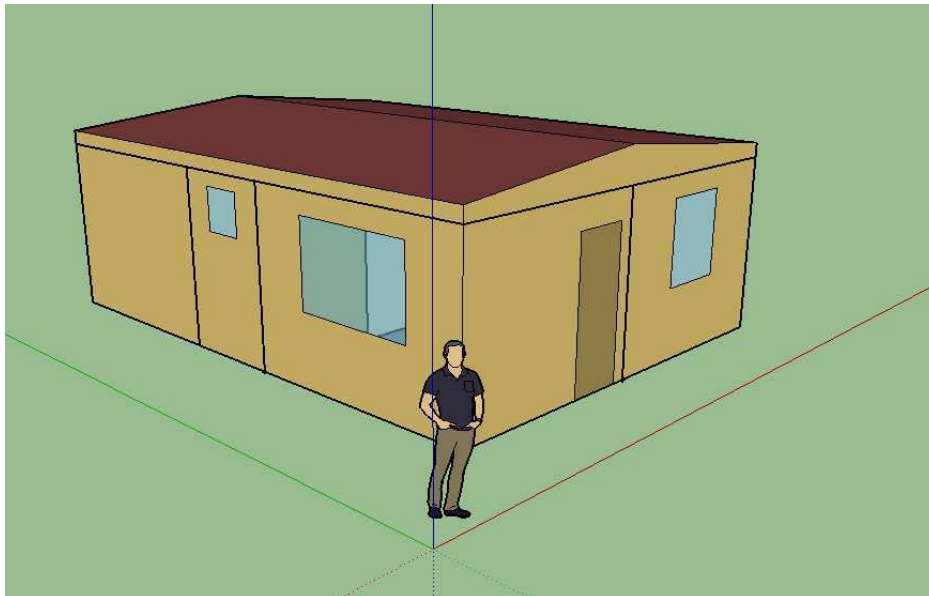
Fonte: O autor (2019).

Figura 20: Face lateral direita da residência em perspectiva



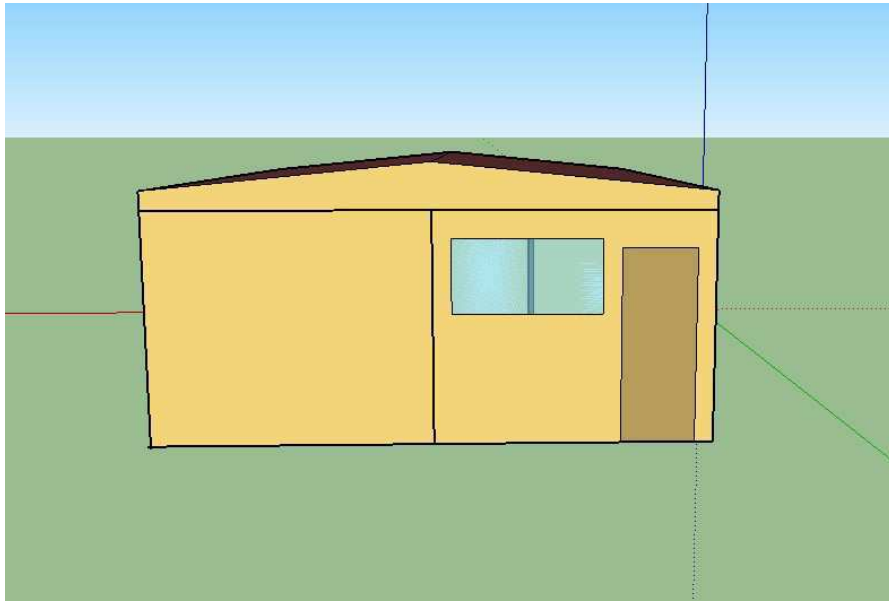
Fonte: O autor (2019).

Figura 21: Face lateral esquerda da residência em perspectiva



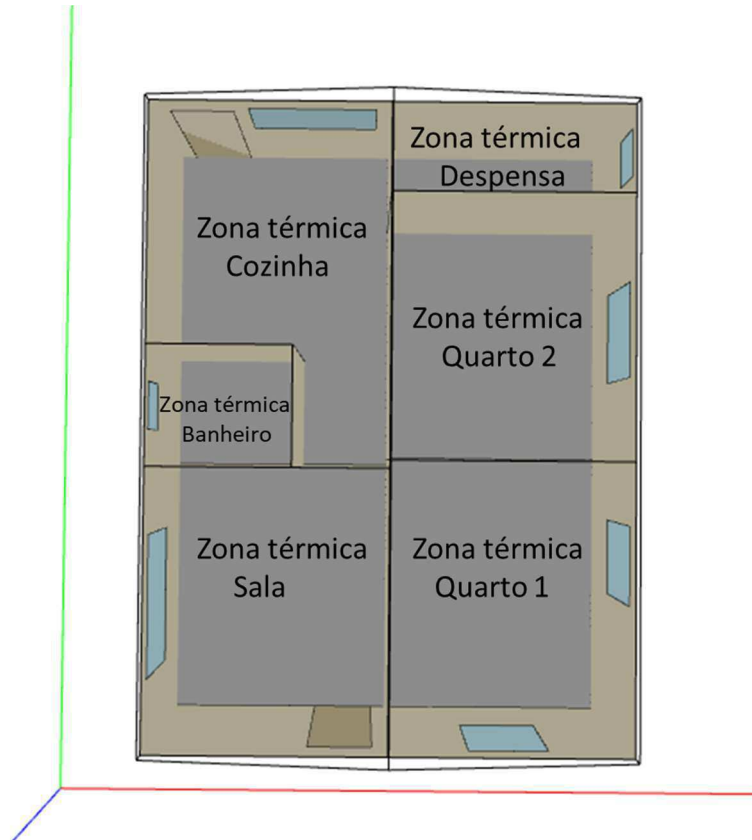
Fonte: O autor (2019).

Figura 22: Face posterior da residência voltada para o norte



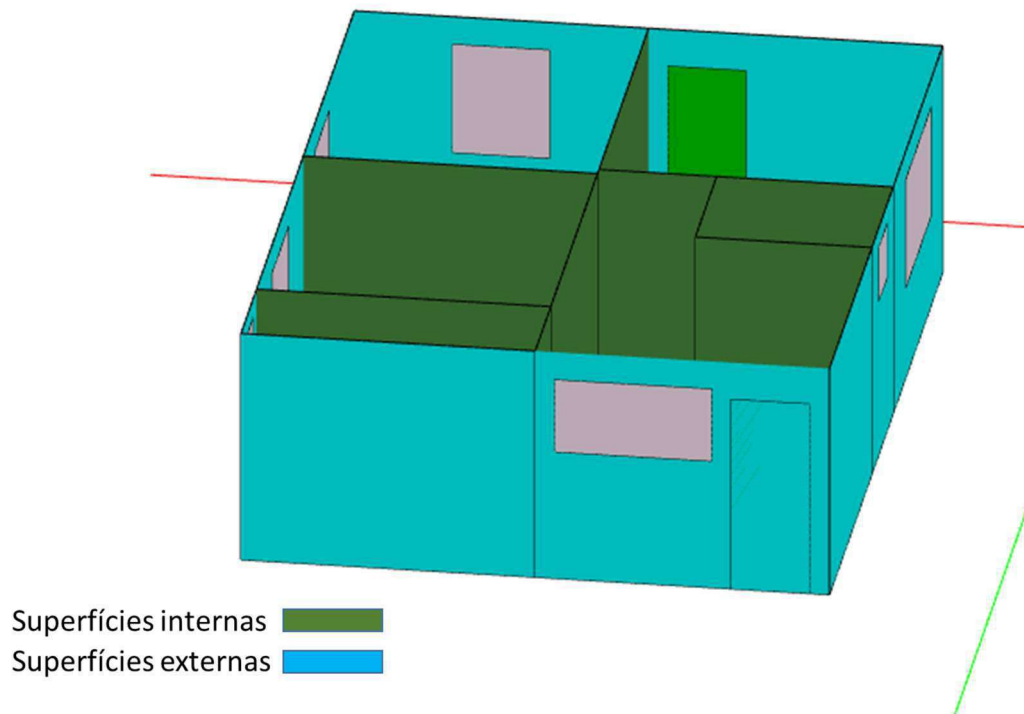
Fonte: O autor (2019).

Figura 23: Zonas térmicas da residência



Fonte: O autor (2019).

Figura 24: Superfícies internas e externas da residência



Fonte: O autor (2019).

4.2 TEMPERATURA DE BULBO SECO AO AR LIVRE

Conforme dito anteriormente, com base na definição do dia típico de verão (14 de janeiro de 2009) foram obtidas as temperaturas de bulbo seco, uma vez que é neste dia que se encontram as maiores temperaturas. Os valores obtidos são mostrados a seguir na Tabela 23.

Tabela 23: Temperaturas externas no dia típico de verão

Temperatura Externa dia 14/01/2009	
Hora	Temperatura (°C)
00:00	23,75
01:00	23,42
02:00	23,00
03:00	23,06
04:00	23,10
05:00	23,10
06:00	23,10
07:00	23,04
08:00	23,00
09:00	23,00
10:00	24,75
11:00	26,53
12:00	28,13
13:00	30,17
14:00	31,58
15:00	32,58
16:00	33,00
17:00	31,66
18:00	30,88
19:00	30,42
20:00	28,25
21:00	26,42
22:00	25,42
23:00	23,72

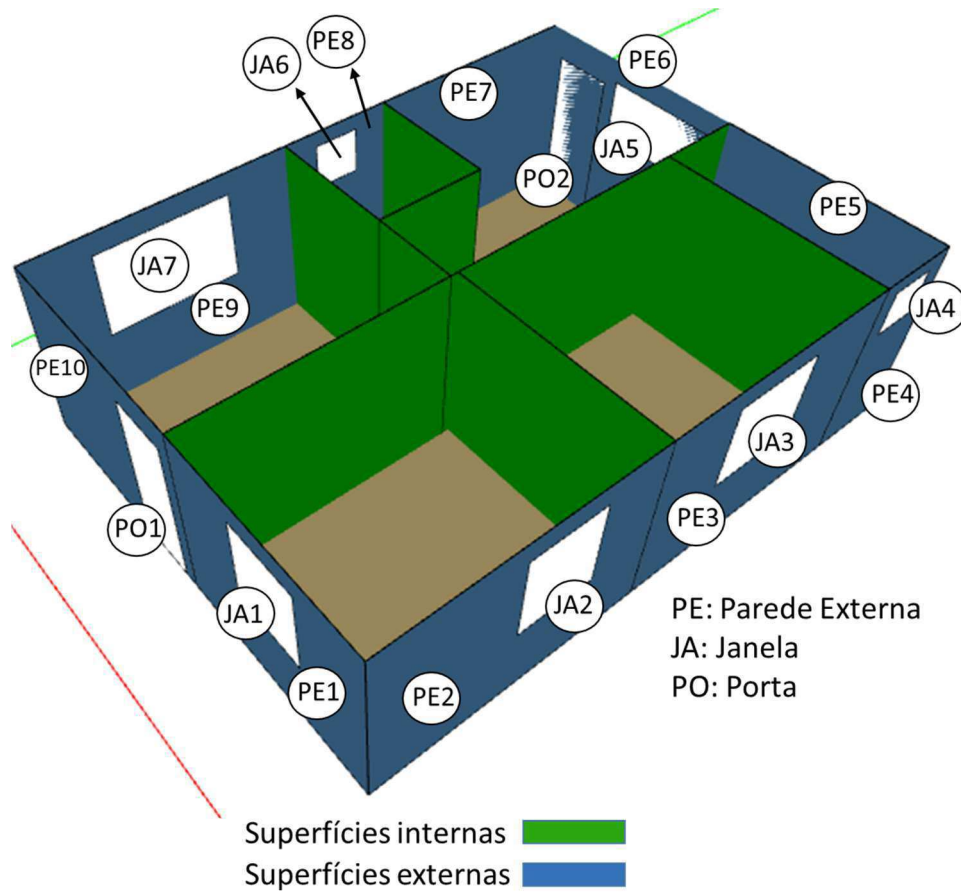
Fonte: O autor (2019)

Segundo a norma ABNT NBR 15575 de 2013 a temperatura de bulbo seco, juntamente com a temperatura interna das zonas, é a variável que permite realizar a verificação do desempenho térmico da residência. Dito isso, a temperatura máxima obtida, e que será usada nas verificações (conforme item 4.7), foi de 33 °C para às 16 horas.

4.3 TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES INTERNAS E EXTERNAS.

Na Figura 25 observa-se a identificação de cada superfície externa da residência, em relação aos painéis de fechamento em *Steel Frame*, portas e janelas.

Figura 25: Identificação das superfícies externas da residência



Fonte: O autor (2019).

Em relação às superfícies externas, foram obtidos os valores de temperatura em relação à face externa das mesmas. A Tabela 24 mostra os valores de temperatura de cada superfície durante o dia.

Tabela 24: Temperatura da face externa das superfícies externas

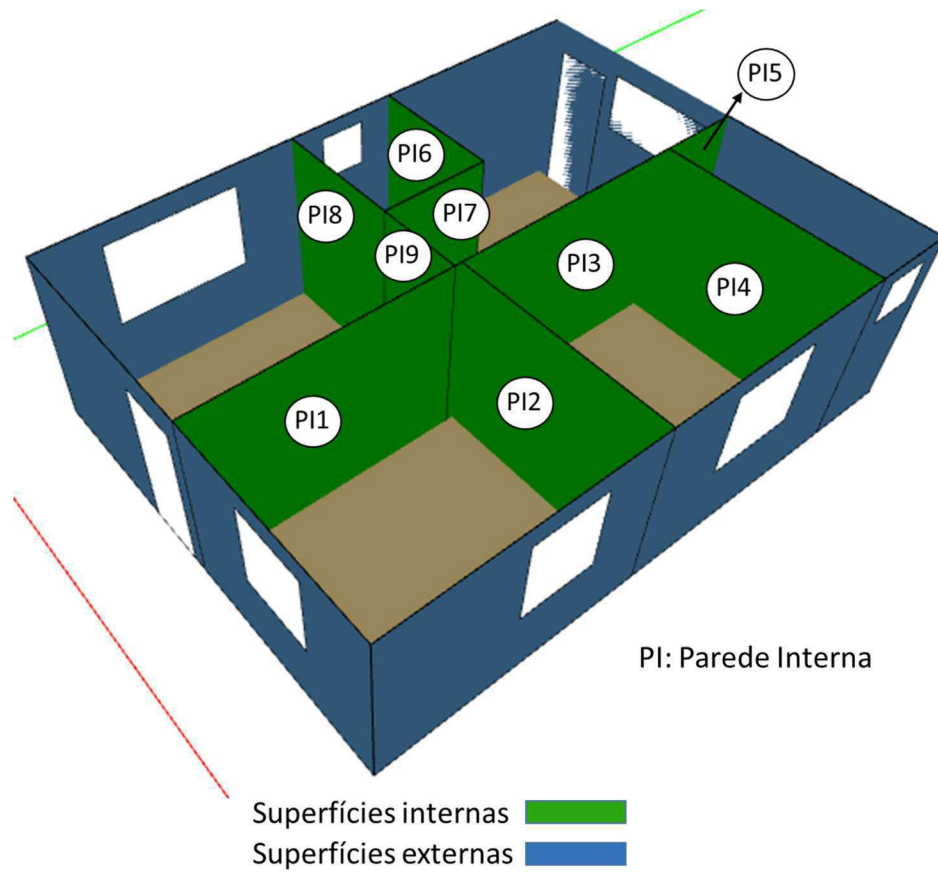
Hora	Temperatura Paredes Externas (°C)										Média horária
	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Parede 9	Parede 10	
00:00	23,07	23,04	23,00	22,99	22,98	23,03	23,08	23,05	23,11	23,08	23,04
01:00	22,72	22,71	22,67	22,66	22,65	22,69	22,71	22,69	22,73	22,72	22,69
02:00	22,22	22,21	22,18	22,17	22,16	22,20	22,21	22,19	22,21	22,21	22,20
03:00	22,17	22,17	22,15	22,14	22,13	22,16	22,16	22,14	22,15	22,16	22,15
04:00	22,40	22,42	22,40	22,39	22,38	22,41	22,38	22,38	22,38	22,38	22,39
05:00	22,49	22,49	22,48	22,47	22,45	22,47	22,46	22,45	22,45	22,46	22,47
06:00	22,50	22,50	22,49	22,48	22,46	22,48	22,48	22,47	22,45	22,47	22,48
07:00	22,72	22,82	22,81	22,79	22,63	22,65	22,65	22,63	22,62	22,69	22,70
08:00	25,27	27,19	27,19	27,17	24,09	24,11	24,11	24,10	24,08	25,24	25,26
09:00	32,40	41,33	41,33	41,31	26,70	26,72	26,70	26,69	26,67	32,37	32,22
10:00	38,48	50,33	50,32	50,30	29,55	29,57	29,56	29,54	29,53	38,44	37,56
11:00	42,54	51,74	51,73	51,69	32,68	32,69	32,69	32,67	32,66	42,49	40,36
12:00	43,63	46,81	46,79	46,75	34,90	34,91	34,92	34,88	34,88	43,57	40,20
13:00	45,11	41,47	41,44	41,40	36,90	36,91	37,39	37,34	37,36	45,04	40,04
14:00	47,56	39,92	39,88	39,84	38,60	38,61	44,06	44,00	44,03	47,50	42,40
15:00	47,45	39,10	39,05	39,01	39,02	39,03	51,24	51,18	51,22	47,40	44,37
16:00	46,95	38,52	38,46	38,43	38,76	38,77	56,37	56,32	56,37	46,92	45,59
17:00	44,56	36,73	36,67	36,64	37,04	37,06	56,51	56,46	56,53	44,55	44,27
18:00	39,71	33,98	33,92	33,89	34,24	34,26	49,59	49,55	49,63	39,72	39,85
19:00	33,97	31,42	31,36	31,34	31,52	31,55	38,63	38,58	38,68	34,00	34,11
20:00	29,64	28,87	28,80	28,79	28,87	28,91	31,15	31,10	31,21	29,68	29,70
21:00	26,82	23,59	26,54	26,53	26,57	26,61	27,34	27,30	27,39	26,86	26,56
22:00	25,28	25,20	25,15	25,15	25,15	25,19	25,43	25,40	25,48	25,31	25,27
23:00	23,79	23,77	23,73	23,73	23,71	23,75	23,83	23,81	23,87	23,81	23,78

Fonte: O autor (2019).

De acordo com a tabela acima, nota-se que a partir das 9 horas ocorre um aumento considerável de temperatura das superfícies externas das paredes em questão. O valor médio máximo das temperaturas obtidas para essas paredes é de 45,49 °C. Ainda vale ressaltar que, por se tratar de uma variável que diz respeito à temperatura externa, os maiores valores da mesma ocorrem no horário que a temperatura de bulbo seco é máxima (16 horas). Isso evidencia uma relação direta entre essas duas variáveis térmicas.

Na Figura 26 observa-se a identificação de cada superfície interna da residência, em relação aos painéis de fechamento em *Steel Frame*.

Figura 26: Identificação das superfícies internas da residência



Fonte: O autor (2019).

Para as superfícies internas, os valores de temperatura obtidos foram em relação a face interna das mesmas. A Tabela 25 mostra os valores de temperatura de cada superfície durante o dia.

Tabela 25: Temperatura da face interna das superfícies internas

Hora	Temperatura Paredes Internas (°C)									
	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Parede 9	Média horária
00:00	24,10	24,03	23,32	23,26	22,96	23,31	23,63	23,85	23,89	23,60
01:00	23,68	23,63	23,08	23,03	22,74	23,05	23,34	23,28	23,32	23,24
02:00	23,30	23,28	22,85	22,81	22,51	22,79	23,05	22,76	22,80	22,91
03:00	22,97	22,97	22,65	22,61	22,29	22,54	22,79	22,32	22,35	22,61
04:00	22,69	22,71	22,47	22,43	22,08	22,30	22,56	21,95	21,98	22,35
05:00	22,45	22,48	22,30	22,27	21,88	22,07	22,35	21,63	21,66	22,12
06:00	22,24	22,28	22,16	22,13	21,69	21,86	22,17	21,35	21,38	21,92
07:00	22,08	22,13	22,04	22,02	21,53	21,66	22,01	21,13	21,16	21,75
08:00	22,25	22,30	22,18	22,15	21,47	21,55	21,95	21,11	21,13	21,79
09:00	23,04	23,08	22,83	22,80	21,67	21,54	22,04	21,36	21,39	22,19
10:00	24,06	24,11	23,65	23,62	22,00	21,60	22,33	21,84	21,87	22,79
11:00	25,01	25,07	24,34	24,30	22,36	21,72	22,88	22,45	22,48	23,40
12:00	25,78	25,85	24,79	24,76	22,70	21,90	23,29	23,08	23,13	23,92
13:00	26,21	26,28	24,85	24,82	22,97	22,12	23,68	23,67	23,74	24,26
14:00	26,57	26,64	24,89	24,86	23,23	22,47	23,99	24,56	24,65	24,65
15:00	26,93	26,97	25,00	24,95	23,47	22,95	24,20	25,74	25,84	25,12
16:00	27,16	27,16	25,02	24,98	23,69	23,50	24,59	26,93	27,02	25,56
17:00	27,21	27,16	24,96	24,91	23,85	24,03	25,00	27,87	27,96	25,89
18:00	27,03	26,92	24,79	24,74	23,95	24,38	25,24	28,21	28,29	25,95
19:00	26,47	26,33	24,41	24,35	23,96	24,44	25,31	27,72	27,79	25,64
20:00	25,93	25,77	24,14	24,06	23,89	24,34	25,10	26,90	26,97	25,23
21:00	25,50	25,35	24,00	23,93	23,77	24,19	24,76	26,13	26,20	24,87
22:00	25,07	24,93	23,84	23,77	23,60	23,97	24,42	25,36	25,43	24,49
23:00	24,64	24,53	23,65	23,59	23,39	23,72	24,08	24,62	24,67	24,10

Fonte: O autor (2019).

Em relação a tabela acima, constata-se também que a partir das 9 horas ocorre um aumento considerável de temperatura dessas superfícies, sendo que às 18 horas o valor médio das temperaturas das paredes é máximo (25,95 °C). Pode-se observar que a média máxima para as paredes internas ocorrem duas horas após o horário de valores máximos de temperatura para as paredes externas. Uma explicação para essa diferença de tempo diz respeito ao atraso térmico que os materiais de fechamento e isolamento proporcionam às zonas internas da edificação.

4.4 TAXA DE GANHO DE CALOR POR CONVECÇÃO DEVIDO A CARGAS INTERNAS

A Tabela 26 exhibe os resultados em Watts do ganho de calor devido aos equipamentos elétricos e de iluminação presentes em cada cômodo da residência.

Tabela 26: Ganho Interno de Calor Devido a Cargas Internas

Hora	Ganho Interno de Calor Devido a Cargas Internas (W)						
	Banheiro	Cozinha	Despensa	Quarto 1	Quarto 2	Sala	Média horária
00:00	0,00	108,00	0,00	73,28	76,30	0,00	42,93
01:00	0,00	108,00	0,00	75,54	77,85	0,00	43,57
02:00	0,00	108,00	0,00	77,25	78,93	0,00	44,03
03:00	0,00	108,00	0,00	78,60	79,82	0,00	44,40
04:00	0,00	108,00	0,00	79,72	80,59	0,00	44,72
05:00	0,00	108,00	0,00	80,74	81,32	0,00	45,01
06:00	0,00	108,00	0,00	81,62	81,97	0,00	45,27
07:00	0,00	108,00	0,00	82,31	82,51	0,00	45,47
08:00	0,00	108,00	0,00	81,61	81,95	0,00	45,26
09:00	0,00	108,00	0,00	77,28	78,21	0,00	43,91
10:00	0,00	201,78	0,00	74,84	76,78	25,36	63,13
11:00	0,00	250,57	0,00	62,91	65,81	21,25	66,76
12:00	0,00	139,62	0,00	60,63	65,03	20,80	47,68
13:00	0,00	179,68	0,00	0,00	0,00	0,00	29,95
14:00	0,00	108,00	0,00	57,92	63,86	61,66	48,57
15:00	0,00	108,00	0,00	54,92	62,61	58,84	47,40
16:00	0,00	245,57	0,00	54,22	62,87	53,31	69,33
17:00	0,00	243,86	0,00	54,40	63,21	52,12	68,93
18:00	0,00	243,21	0,00	55,68	63,98	52,06	69,16
19:00	0,00	203,41	0,00	0,00	0,00	0,00	33,90
20:00	0,00	108,00	0,00	104,26	114,41	30,00	59,44
21:00	0,00	108,00	0,00	105,07	113,20	30,00	59,38
22:00	0,00	108,00	0,00	104,57	110,75	0,00	53,89
23:00	0,00	108,00	0,00	107,27	112,02	0,00	54,55

Fonte: O autor (2019).

A maior taxa horária de calor ocorre as 16 horas, e possui uma intensidade de 69,33 W. Com base nos dados da tabela acima pode-se perceber que nesse horário as zonas térmicas Quarto 1, Quarto 2 e sala não possuem os seus valores máximos de ganho interno de calor. Dito isso, percebe-se que a cozinha é a zona térmica responsável por essa média máxima horária. A

explicação para os valores altos de ganhos de calor para a cozinha refere-se ao cronograma de atividades e uso de equipamentos adotados para esse ambiente.

4.5 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA DE CADA ZONA

A Tabela 27 mostra os valores da temperatura radiante média em graus Celsius das zonas térmicas da residência.

Tabela 27: Temperatura Radiante Média de cada zona térmica

Hora	Temperatura Radiante Média (°C)						
	Banheiro	Cozinha	Despensa	Quarto 1	Quarto 2	Sala	Média horária
00:00	22,93	23,05	22,56	23,28	22,68	23,08	22,93
01:00	22,67	22,75	22,34	22,92	22,46	22,57	22,62
02:00	22,42	22,47	22,11	22,59	22,25	22,12	22,33
03:00	22,18	22,24	21,90	22,33	22,08	21,75	22,08
04:00	21,96	22,05	21,71	22,11	21,93	21,46	21,87
05:00	21,75	21,87	21,53	21,91	21,78	21,19	21,67
06:00	21,55	21,70	21,37	21,74	21,66	20,96	21,49
07:00	21,37	21,57	21,23	21,62	21,57	20,79	21,36
08:00	21,27	21,55	21,24	21,88	21,78	20,83	21,42
09:00	21,27	21,68	21,57	22,84	22,60	21,16	21,85
10:00	21,34	22,02	22,00	23,87	23,42	21,71	22,39
11:00	21,48	22,60	22,42	24,75	24,02	22,35	22,94
12:00	21,67	23,01	22,75	25,37	24,31	22,98	23,35
13:00	21,91	23,43	23,00	25,66	24,26	23,57	23,64
14:00	22,31	23,75	23,24	26,00	24,30	24,57	24,03
15:00	22,87	23,99	23,47	26,29	24,38	25,82	24,47
16:00	23,49	24,43	23,67	26,45	24,39	27,00	24,90
17:00	24,04	24,80	23,79	26,40	24,30	27,78	25,18
18:00	24,33	25,00	23,83	26,13	24,13	27,80	25,20
19:00	24,29	24,99	23,77	25,52	23,74	26,97	24,88
20:00	24,11	24,67	23,63	25,00	23,51	26,04	24,49
21:00	23,88	24,25	23,44	24,58	23,36	25,23	24,12
22:00	23,62	23,87	23,22	24,17	23,19	24,48	23,76
23:00	23,33	23,48	22,98	23,75	22,99	23,75	23,38

Fonte: O autor (2019).

Segundo a tabela acima, percebe-se que a temperatura radiante média possui valor máximo de 25,20 °C, o qual ocorre no período das 18 horas. Uma justificativa para esse horário remete-se ao fato de que a temperatura radiante, que é influenciada pelas trocas de calor por

radiação dos ambientes internos, será maior quando a temperatura interna desses ambientes for máxima. Dito isso, conforme mostrado no item 4.6 deste trabalho, as temperaturas internas máximas acontecem também às 18 horas.

4.6 TEMPERATURA INTERNA DE CADA ZONA

A temperatura média de cada zona térmica é dada a partir da média das temperaturas do ar ao longo do tempo, as mesmas são mostradas na Tabela 28 a seguir.

Tabela 28: Temperatura Interna do Ar nas Zonas Térmicas.

Hora	Temperatura Interna do Ar nas Zonas Térmicas						
	Banheiro	Cozinha	Despensa	Quarto 1	Quarto 2	Sala	Média horária
00:00	22,88	24,52	22,51	24,46	23,96	23,12	23,57
01:00	22,62	24,22	22,28	24,11	23,74	22,60	23,26
02:00	22,37	23,94	22,06	23,81	23,55	22,14	22,98
03:00	22,13	23,71	21,86	23,57	23,39	21,76	22,74
04:00	21,91	23,51	21,67	23,36	23,25	21,46	22,53
05:00	21,71	23,33	21,49	23,17	23,11	21,20	22,33
06:00	21,51	23,16	21,33	23,01	22,99	20,97	22,16
07:00	21,34	23,03	21,19	22,90	22,90	20,79	22,03
08:00	21,25	23,01	21,22	23,12	23,08	20,83	22,08
09:00	21,24	23,12	21,63	24,01	23,85	21,21	22,51
10:00	21,33	24,23	22,10	25,02	24,68	22,23	23,26
11:00	21,50	25,25	22,52	25,77	25,16	22,89	23,85
12:00	21,71	24,77	22,83	26,30	25,42	23,51	24,09
13:00	21,98	25,52	23,06	25,78	24,40	23,84	24,10
14:00	22,45	25,24	23,30	26,79	25,29	25,64	24,79
15:00	23,09	25,47	23,54	27,13	25,45	26,91	25,26
16:00	23,73	27,03	23,72	27,27	25,47	28,01	25,87
17:00	24,24	27,42	23,81	27,19	25,37	28,73	26,12
18:00	24,46	27,61	23,83	26,91	25,20	28,64	26,11
19:00	24,33	27,30	23,75	25,64	23,87	27,13	25,34
20:00	24,11	26,12	23,59	26,37	25,09	26,49	25,29
21:00	23,84	25,69	23,39	26,09	25,06	25,69	24,96
22:00	23,57	25,33	23,17	25,69	24,86	24,56	24,53
23:00	23,28	24,95	22,92	25,30	24,67	23,80	24,15

Fonte: O autor (2019).

A partir da Tabela 28 mostrada acima, observa-se que o aumento gradual dos valores de temperatura média dos cômodos ocorre a partir das 9 horas, sendo que a maior média de

temperatura equivale à 26,12 °C. A temperatura interna do ar das zonas térmicas sofre influência de todas as demais variáveis mostradas anteriormente. Dessa maneira, o horário que ocorre os maiores valores para essa variável (17 horas) situa-se entre os horários das maiores temperaturas externas (16 horas) e internas (18 horas).

4.7 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

Conforme exposto anteriormente, para que o desempenho térmico de um ambiente seja estabelecido como minimamente aceitável, levando em consideração valores de temperaturas de verão, e a localização bioclimática do ambiente, a norma ABNT NBR 15575 de 2013 diz que o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação (Tabela 29).

Tabela 29: Critérios de valores máximos de temperatura de verão para zona 8.

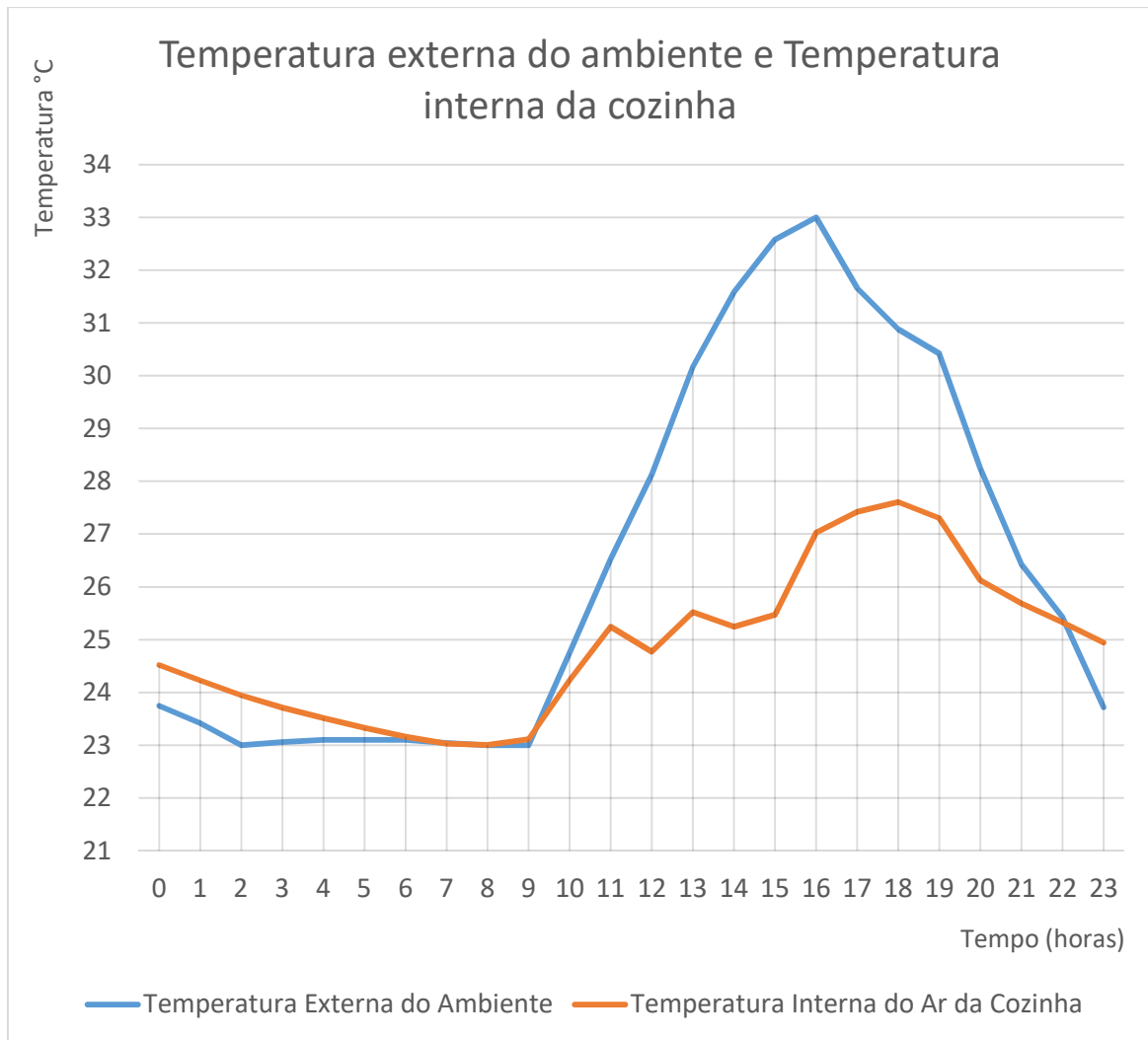
NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO
	ZONA 8
M	$T_i, \text{máx.} \leq T_e, \text{máx.}$
I	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 1 \text{ } ^\circ\text{C})$
S	$T_i, \text{máx.} \leq (T_e, \text{máx.} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$
<p>$T_i, \text{máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.</p> <p>$T_e, \text{máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3</p>	

Fonte: ABNT NBR 15575, 2013.

Dessa maneira, considerando a análise apenas das zonas de permanência prolongada (quartos, cozinha e sala), os dados obtidos em relação a temperatura externa do ambiente e a temperatura interna das zonas, foram relacionados graficamente.

4.7.1 Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Cozinha

De acordo com os dados obtidos de temperatura de bulbo seco ao ar livre (temperatura externa à casa) e temperatura interna da cozinha foi feito o Gráfico 1, que relaciona os dois parâmetros em questão.

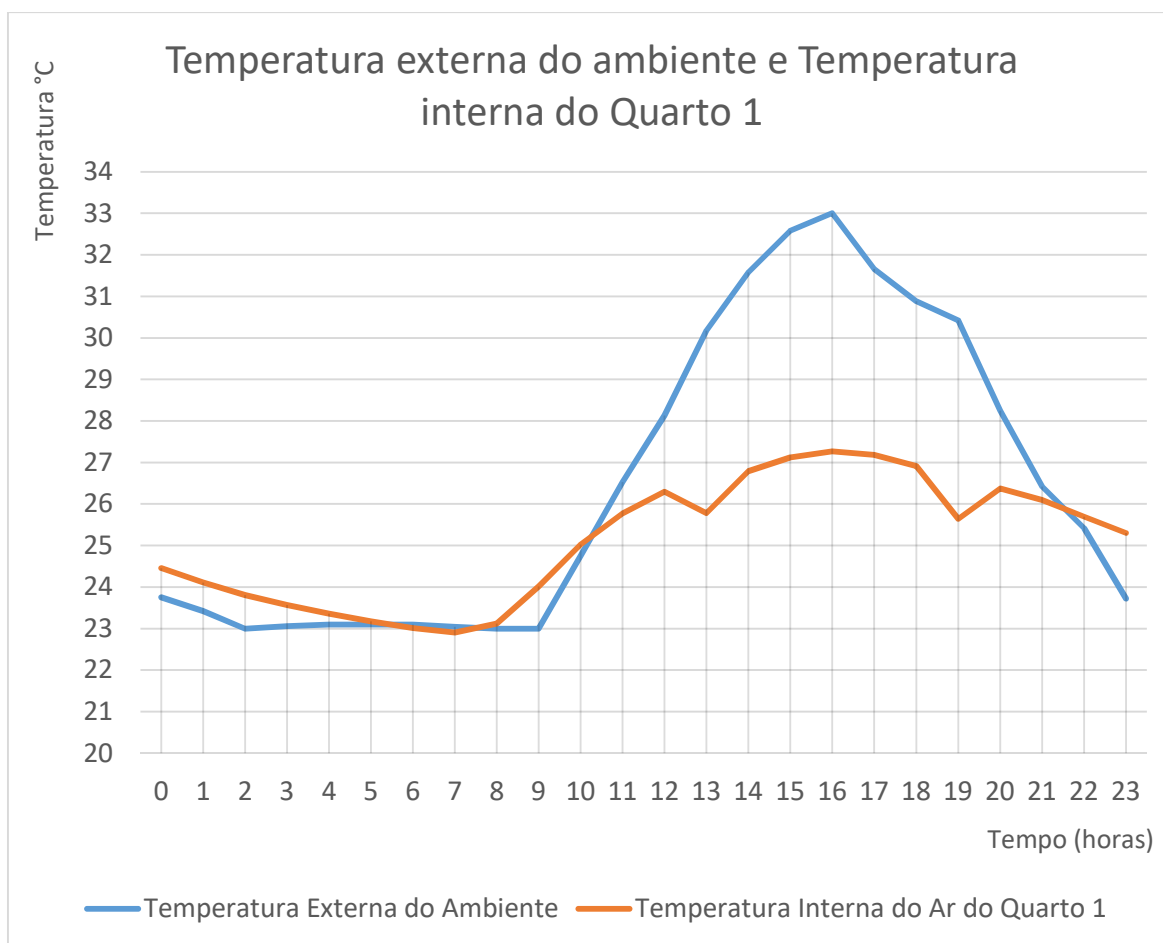
Gráfico 1: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e da cozinha

Fonte: O autor (2019).

Analisando o gráfico, e considerando a norma ABNT NBR 15575, conclui-se que na cozinha o nível de desempenho térmico é classificado como superior (S), uma vez que a diferença entre a temperatura externa máxima diária (33 °C às 16 horas) e a temperatura interna máxima diária (27,61 °C às 18 horas) é superior a 2 °C.

4.7.2 Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Quarto 1

De acordo com os dados obtidos de temperatura de bulbo seco ao ar livre e temperatura interna do quarto 1, foi elaborado o Gráfico 2 que é mostrado a seguir.

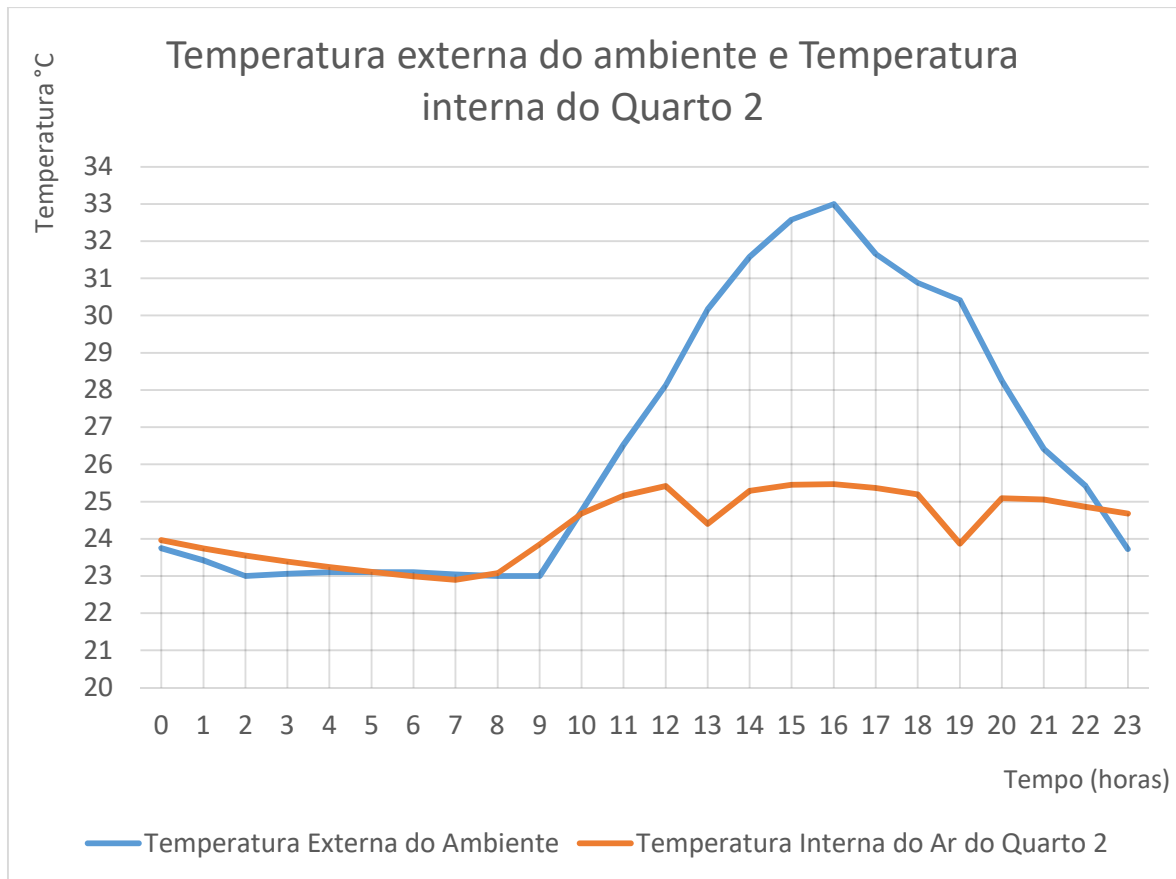
Gráfico 2: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e do quarto 1

Fonte: O autor (2019).

De acordo com o gráfico, e segundo o ponto de vista normativo, conclui-se que no quarto 1 o nível de desempenho térmico é classificado como superior (S), pois a diferença entre a temperatura externa máxima diária (33 °C às 16 horas) e a temperatura interna máxima diária (27,27 °C às 16 horas) é superior a 2 °C.

4.7.3 Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Quarto 2

De acordo com os dados obtidos de temperatura de bulbo seco ao ar livre e temperatura interna do quarto 2, foi elaborado o Gráfico 3 a seguir.

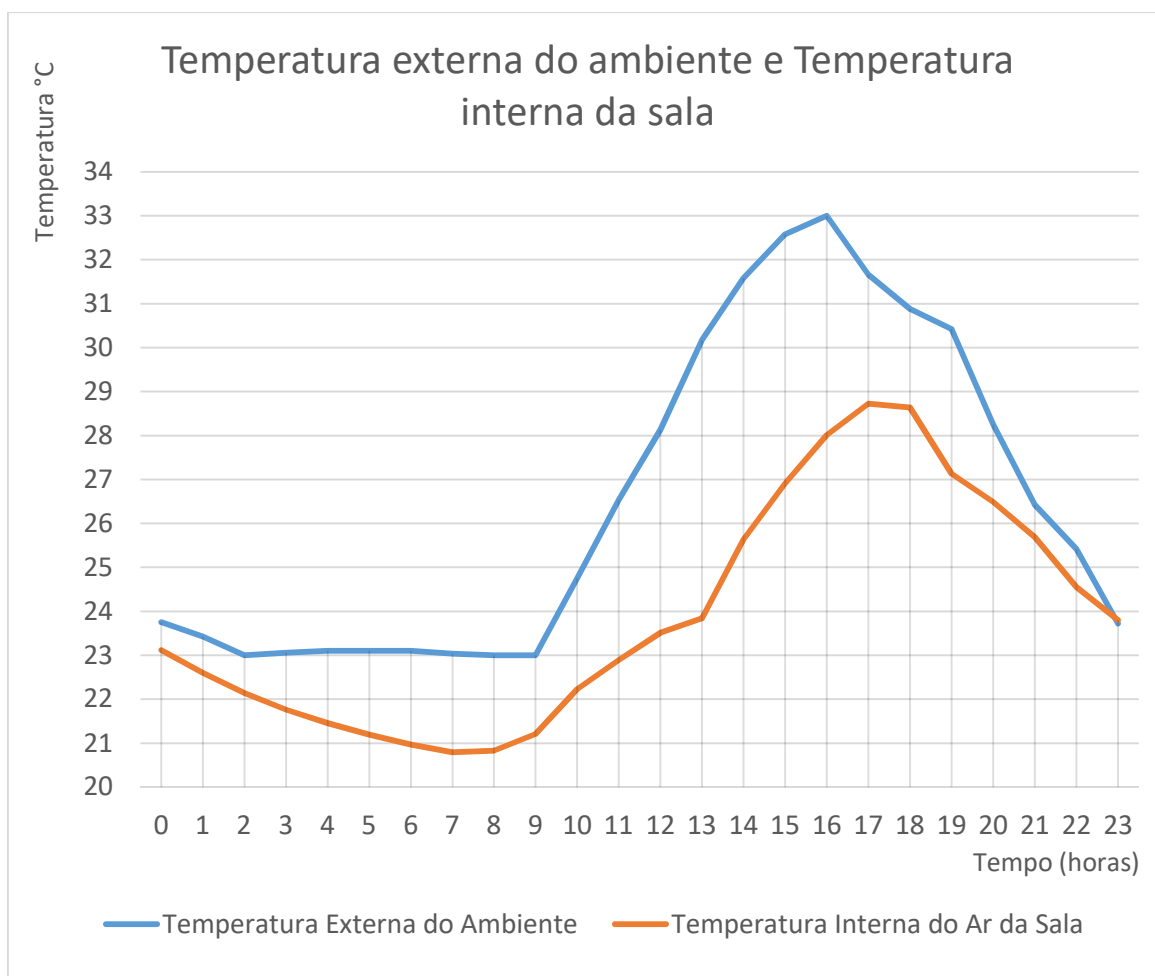
Gráfico 3: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e do quarto 2

Fonte: O autor (2019).

Conforme o gráfico, e consoante a norma, conclui-se que no quarto 2 o nível de desempenho térmico é classificado como superior (S), pois a diferença entre a temperatura externa máxima diária (33 °C às 16 horas) e a temperatura interna máxima diária (25,47 °C às 16 horas) é superior a 2 °C.

4.7.4 Análise do Desempenho Térmico da Zona Térmica Sala

De acordo com os dados obtidos de temperatura de bulbo seco ao ar livre e temperatura interna da sala, foi elaborado o Gráfico 4 a seguir.

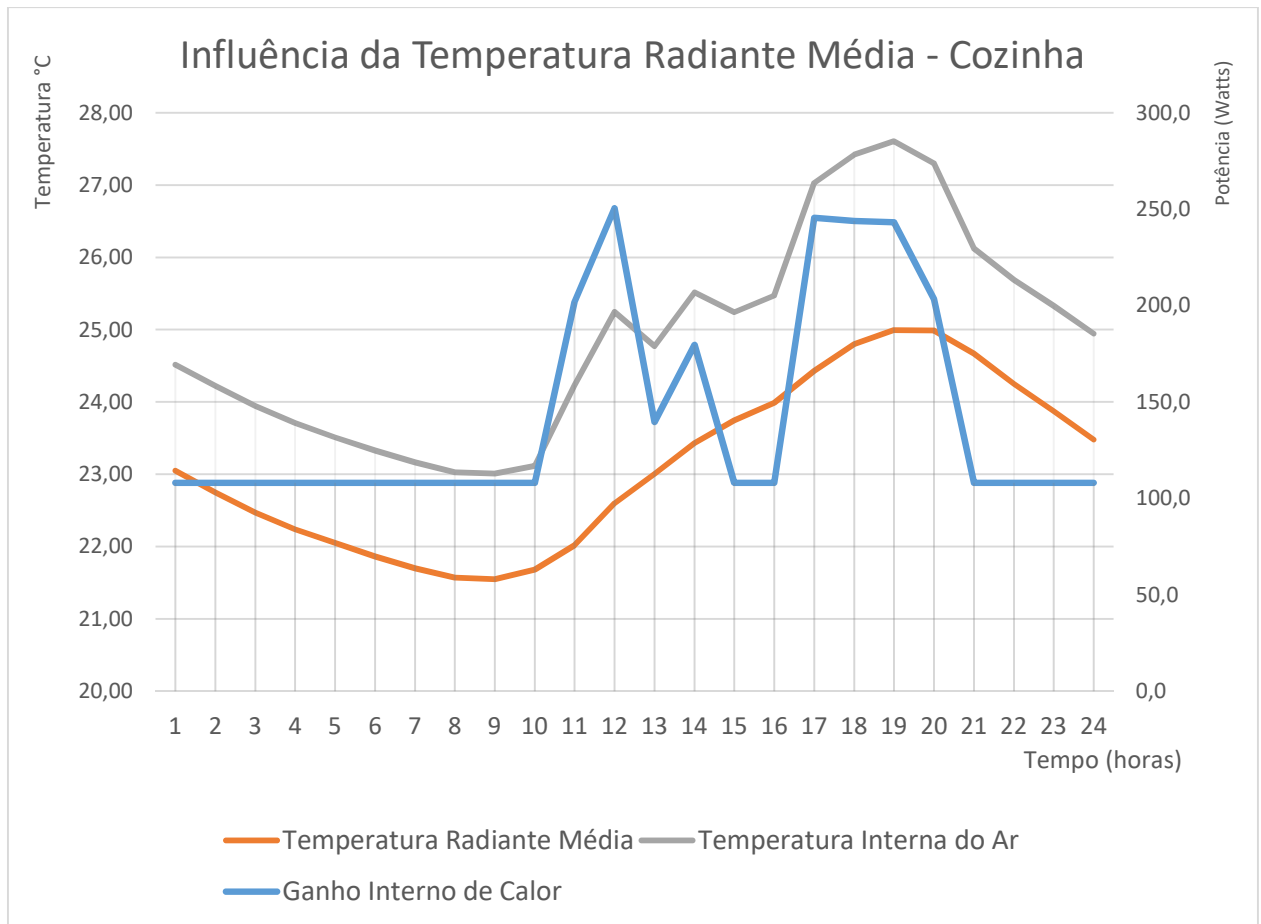
Gráfico 4: Relação entre a temperatura do ar do ambiente externo e da sala

Fonte: O autor (2019).

Analisando o gráfico, e considerando a norma ABNT NBR 15575, conclui-se que na sala o nível de desempenho térmico é classificado como superior (S), uma vez que a diferença entre a temperatura externa máxima diária (33 °C às 16 horas) e a temperatura interna máxima diária (28,73 °C às 17 horas) é superior a 2 °C.

4.7.5 Influência da Temperatura Radiante Média

Conforme explanado anteriormente, o aumento da temperatura de um ambiente se dá também pelo aumento dos ganhos internos de calor do mesmo. Neste contexto, a temperatura radiante média descreve a interação entre as superfícies do ambiente e as cargas de calor, por conseguinte, isso irá implicar no aumento da temperatura interna do ar da região. O Gráfico 5 mostra exatamente a referida relação entre essas temperaturas e cargas internas de calor.

Gráfico 5: Influência da Temperatura Radiante Média - Cozinha

Fonte: O autor (2019).

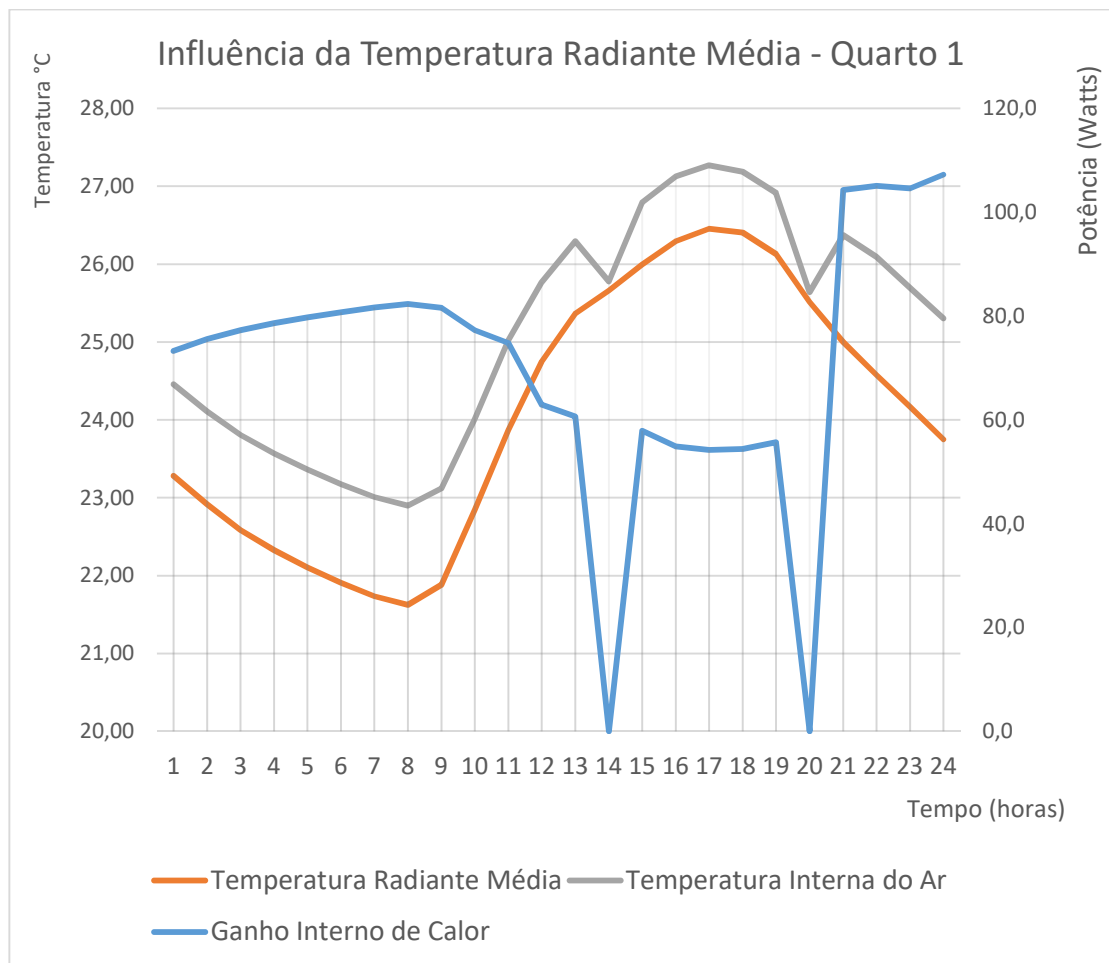
De acordo com o gráfico acima, percebe-se que em relação aos ganhos internos de calor devido a atividades humanas e uso de equipamentos (curva azul) ocorrem dois grandes crescimentos na curva. O primeiro ocorre entre as 10 horas e 12 horas, e o segundo entre as 16 horas e 17 horas. Para ambos os casos, segundo o cronogramas de atividades e uso de equipamentos, percebe-se que é nesses horários que ocorre a atividade de cozinhar, com o uso do fogão e geladeira. Analisando a curva de temperatura interna do ar (curva cinza), fica claro que os seus picos de crescimento também são entre 10 horas e 12 horas, e o segundo entre as 16 horas e 17 horas. Isso deixa evidente que a temperatura radiante média influencia diretamente a temperatura interna do ar da cozinha.

Em relação à curva de temperatura radiante média (curva laranja), observa-se que entre as 9 horas e 19 horas, a curva está sempre crescente, esse crescimento pode ser explicado com base no cronograma de atividades da cozinha. Pois é nesse horário onde ocorre o uso da mesma, isso evidencia mais uma vez que as cargas de calor internas geradas por uso de equipamentos

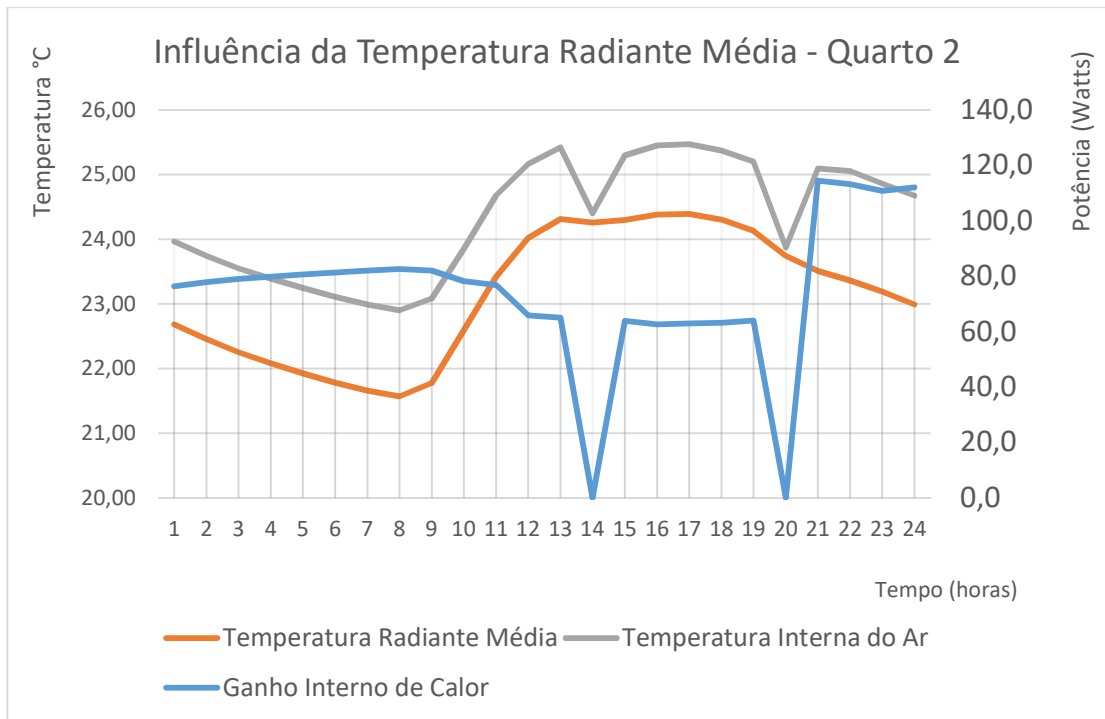
e atividades humanas conduziram esse crescimento e conseqüentemente o aumento da temperatura do ar.

O mesmo efeito ocorre nos demais cômodos da casa, como pode ser observado nos Gráficos 6, 7 e 8, mostrados a seguir.

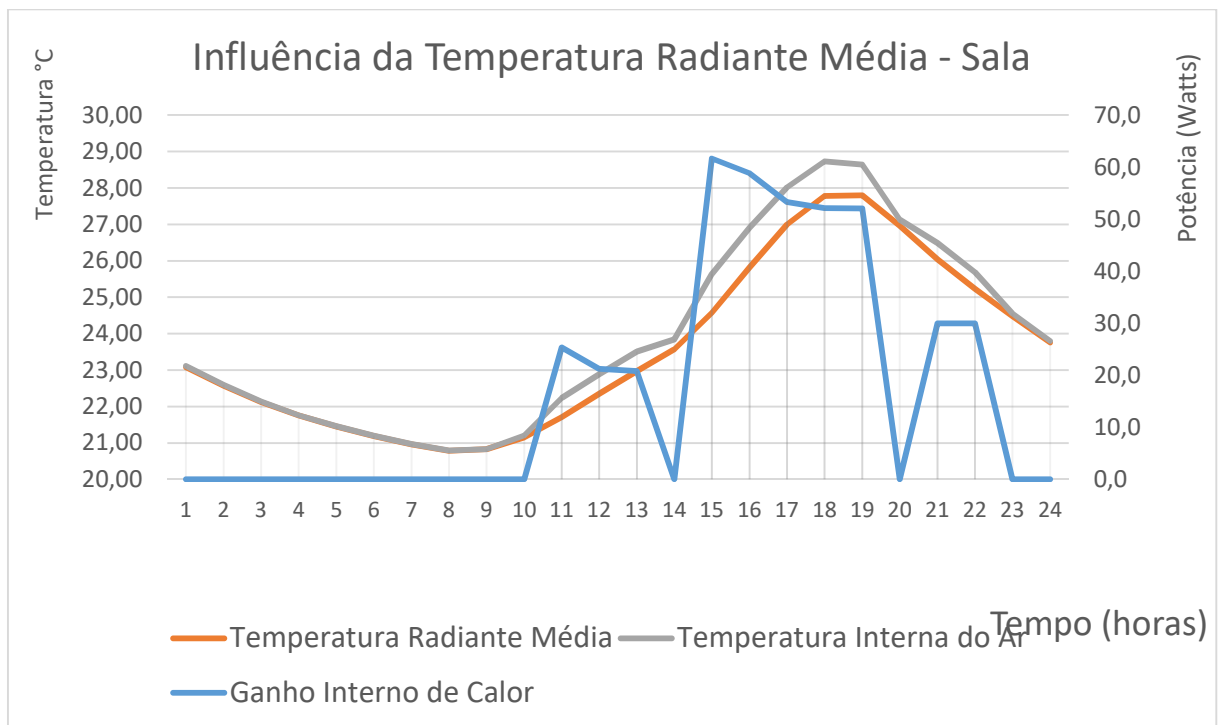
Gráfico 6: Influência da Temperatura Radiante Média – Quarto 1



Fonte: O autor (2019).

Gráfico 7: Influência da Temperatura Radiante Média – Quarto 2

Fonte: O autor (2019).

Gráfico 8: Influência da Temperatura Radiante Média – Sala

Fonte: O autor (2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os fechamentos em *Light Steel Frame*, foi percebido que houve uma diminuição das temperaturas internas do ar da edificação, em relação a temperatura externa. Ainda, observa-se que, de acordo com a ABNT NBR 15575 de 2013 pode-se concluir que o desempenho térmico da residência foi é classificado como Desempenho Superior.

Analisando os dados térmicos da simulação percebe-se que a temperatura externa do ambiente e as fontes de calor interna da residência são responsáveis pela variação térmica da edificação. Considerando todos os ambientes de permanência prolongada, nota-se que, as maiores temperaturas internas estão entre o intervalo das 16 horas e 18 horas, sendo que nesse mesmo horário ocorre as maiores variações de temperatura para a cozinha e a sala. No caso dos quarto a taxa de variação de temperatura é acentuada para o intervalo das 10 horas às 13 horas. Nos dois casos, o aumento da temperatura interna é justificado devido ao cronograma de atividades e uso de equipamentos de cada cômodo da residência.

No caso dos painéis de fechamento em *Light Steel Frame*, deve-se salientar que no Brasil ainda é comum o uso apenas de uma camada de material, sendo que na maioria das situações usa-se o gesso acartonado. Mas esse sistema construtivo é fundamentado na ideia de isolamento em multicamadas, e foi nesse conceito que foram concebidos os painéis. Ressaltando-se que por se tratar de uma residência unifamiliar de baixo custo, os materiais foram escolhidos com base na facilidade construtiva, custo e disponibilidade dos mesmos.

Apesar da própria norma ABNT NBR 15575 recomendar o uso do EnergyPlus para a determinação do comportamento térmico de edificações, o uso dessa ferramenta aplicada a esse tipo de estudo tem pouco destaque e não está agregado nos estudos preliminares de concepção de projetos residenciais no Brasil.

Dado as crises energéticas atuais, e a preocupação com a economia de energia, bem como o cuidado com a preservação ambiental, é necessário que exista um estudo energético de projeto de uma edificação, para que sejam evitados gastos excessivos com energia. Do ponto vista térmico, e considerando a região de estudo desse trabalho, o uso de ferramentas que determinam o comportamento térmico de uma residência podem diminuir a utilização de equipamentos de refrigeração e ventilação na mesma. Em alguns casos pode até mesmo

possibilitar a criação de projetos que permitam o uso da edificação apenas com a ventilação natural, respeitando os parâmetros de conforto térmico normativos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar de Campina Grande se localizar na região Nordeste do Brasil, na qual não é normativamente obrigatório o desempenho térmico de edificações para dias típicos de inverno, existe, em algumas épocas do ano, baixas temperaturas. De acordo com a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas), em 2017 foi registrado uma temperatura de 16,1 °C na cidade em questão. Nesse contexto, e levando em consideração o despreparo das edificações de baixo custo para situações de baixas temperaturas, fica sugerido o estudo do desempenho térmico para dias típicos de inverno em Campina Grande.

Outras sugestões para pesquisas relacionadas ao sistema construtivo *Light Steel Frame*:

- Estudo de viabilidade econômica dos painéis de fechamento.
- Estudo de desempenho acústico considerando diferentes tipos de fechamento.
- Simulações térmicas de residências com sistemas de refrigeração e aquecimento artificial.

6. REFERÊNCIAS

AKUTSU, Maria. Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ALBUQUERQUE, W.V. et al., Manual de Laboratório de Física Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, 1a Ed. (1980).

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. – ASHRAE. ASHRAE Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Tullie Circle NE, Atlanta, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. – ASHRAE. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Tullie Circle NE, Atlanta, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ATAÍDE, Élen Silva. Avaliação de desempenho térmico de edifício institucional estruturado em aço. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG. 2008. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

BRANSKI, Regina; FRANCO, Raul; LIMA JR, Orlando. Metodologia de Estudos de Caso Aplicada à Logística. Disponível em: <<http://www.lalt.fec.unicamp.br/scriba/files/escrita%20portugues/ANPET%20-%20METODOLOGIA%20DE%20ESTUDO%20DE%20CASO%20-%20COM%20AUTORIA%20-%20VF%2023-10.pdf>>. Acesso em: 13 novembro 2019.

BRASIL Steel Frame. Quando o Steel Frame chegou no Brasil. Disponível em: <<http://steelframebrasil.com.br/quando-o-steel-frame-chegou-no-brasil-e-sua-historia/>>.

Acesso em: 25 junho 2019.

CAIADO, Kneipp de Figueiredo. Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço. 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing. 2005. 231 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CRASTO R. C. M; FREITAS A. M. S. Construções de light steel frame. **Téchne**, Ouro Preto, v. 112, 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285545-4.aspx>>. Acesso em: 25 junho 2019.

FASTCON – Construção Sustentável. Steel Frame passo-a-passo. Disponível em: <<http://fastcon.com.br/steel-frame-passo-a-passo/>>. Acesso em: 21 junho 2019.

FRANSOZO, Hélder Luíz. Avaliação de desempenho térmico de habitações de baixo custo estruturadas em aço. 2003. 191 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. Moraes. Steel Framing: Arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2006. 121 p. (Série Manual da Construção em Aço).

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 243 p.

GOMES, Adriano Pinto. Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing. 2007. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

GOMES, Adriano Pinto. Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em light steel framing. 2012. 147 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

GOUVÊA, Lucas. Tudo que ainda não te contaram sobre o Steel Frame: descubra a Verdade aqui. Disponível em: <<http://fastcon.com.br/blog/steel-frame/>> . Acesso em: 13 novembro 2019.

IMBRALIT. Placas Cimentícia IMBRALIT. Disponível em: <http://www.imbralit.com.br/catalogo%20_tecnico_placa_cimenticia.pdf>. Acesso em: 20 junho 2019.

INCROPERA, F. P De WITT, DP Bergman, TL Lavine, AS. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social. São Paulo: Ed. Mandarim Ltda, 1998. 82 p. (Relatório Técnico nº 33.800).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) – ISO 7730: Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for termal comfort. Geneva, 1994.

MET@LICA Portal. Casa em Steel Frame: Refúgio São Chico. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/casa-em-steel-a-construcao-passo-a-passo>>. Acesso em: 25 junho 2019.

PINTO, Maria Angélica Vieira. Avaliação térmica de edifícios em estrutura metálica. 2000. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

RODRIGUES, Francisco Carlos; CALDAS, Rodrigo Barreto. Steel Framing: Engenharia. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2016. 224 p. (Série Manual da Construção em Aço).

SANTIAGO, A. K. O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural. 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SANTIAGO, Alexandre Kokke et al. Steel Framing Arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2012. 151 p. (Série Manual de Construção em Aço).

SOUZA, Henor Artur de. et al. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steel framing, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 113-128, 2011.

STROBEL, Christian. Refrigeração e Ar condicionado Conforto Térmico e Carga Térmica de Climatização. Disponível em:

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM374/Aula%2009%20-%20Carga%20T%20E9rmica%20de%20Climatiza%20E7%20E3o%20-%20Refrigera%20E7%20E3o%20e%20Ar%20condicionado.docx>. Acesso em 13 novembro 2019.

VERSAGE, Rogério; LAMBERTS, Roberto. Tutorial *OpenStúdio* 1.0. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_OpenStudio.pdf>. Acesso em: 26 junho 2019.