



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LEANDRO PEREIRA PINHEIRO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO, A PARTIR
DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO**

PALMAS – TO
2020

LEANDRO PEREIRA PINHEIRO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO, A PARTIR
DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia Guimarães da Silva.

PALMAS – TO
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

P654a Pinheiro, Leandro Pereira
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO, A
PARTIR DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO / Leandro Pereira Pinheiro. –
Palmas, TO, 2020.
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2020.

Orientadora: Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva

1. Simulação computacional. 2. Desempenho térmico. 3. ABNT
NBR 15575 (2013). I. Silva, Liliane Flávia Guimarães da. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de
estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

LEANDRO PEREIRA PINHEIRO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DA UMA EDIFICAÇÃO
MULTIFAMILIAR SERIADA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO, A PARTIR
DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas.

Aprovado em: 10 / 11 / 2020

BANCA AVALIADORA



Profª. Drª. Liliane Flávia Guimarães da Silva
Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Prof. Dr. Gilson Marafija Pedroso
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO)



Profª. Ma. Mariana Brito de Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

PALMAS – TO
2020

RESUMO

A necessidade de adaptação das edificações para atender aos conceitos de sustentabilidade e conforto, juntamente aos requisitos operacionais, é um desafio enfrentado pelos profissionais da construção civil. Para padronizar os níveis de desempenho nos diversos aspectos das habitações e estimular a adoção de técnicas que viabilizam o atendimento aos seus requisitos, foi publicada a norma de desempenho em edificações habitacionais ABNT NBR 15575 (2013). Dentre os assuntos abordados, está o desempenho térmico e, mais especificamente, a avaliação do desempenho térmico por simulação em *software*, que é o tema deste trabalho. Para Palmas – TO, cidade localizada na Zona Bioclimática 7, com clima predominantemente quente e seco em boa parte do ano, o método de simulação se mostra de grande utilidade para tomada de decisões durante o projeto, visando amenizar temperaturas internas e propor conforto para a edificação. Aguiar (2020) realizou a avaliação do desempenho térmico de uma edificação seriada por meio da medição *in loco*, a mesma foi utilizada neste trabalho como forma de validação para a simulação modelada pelo *SketchUp* e seu *plug-in OpenStudio*, que possui como ferramenta de cálculo embutida o *EnergyPlus*. O arquivo climático elaborado com dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia foi utilizado como entrada para a simulação juntamente com a modelagem já elaborada. A simulação demonstrou resultados otimistas em relação à realidade, na qual o desempenho atendeu o nível superior, enquanto na medição *in loco* o desempenho se classificou como mínimo. Dificuldades e limitações foram observadas durante todo o trabalho, abrangendo a divulgação de operação dos *softwares*, arquivos climáticos e a variedade dos materiais disponíveis em bibliotecas de caracterização térmica.

Palavras-chave: Simulação computacional; desempenho térmico; ABNT NBR 15575 (2013); *EnergyPlus*; *OpenStudio*.

ABSTRACT

The need to adapt buildings to meet the concepts of sustainability and comfort, together with operational requirements, is a challenge faced by civil construction professionals. In order to standardize performance levels in the various aspects of housing and encourage the adoption of techniques that make it possible to meet their requirements, the performance standard for housing building ABNT NBR 15575 (2013) was published. Among the subjects covered, there is thermal performance and, more specifically, the evaluation of thermal performance by software simulation, which is the subject of this work. For Palmas - TO, a city located in the Bioclimatic Zone 7, with a predominantly hot and dry climate for much of the year, the simulation method proves to be very useful for making decisions during the project, aiming to reduce internal temperatures and propose comfort for the edification. For Palmas - TO, a city located in the Bioclimatic Zone 7, with a predominantly hot and dry climate for much of the year, the simulation method proves to be very useful for making decisions during the project, aiming to reduce internal temperatures and propose comfort for the edification. Aguiar (2020) performed the evaluation of the thermal performance of a serial building by means of on-site measurement, which was used in this work as a form of validation for the simulation modeled by SketchUp and its plug in OpenStudio, which has the EnergyPlus as embedded calculation tool. The climatic file elaborated with climatic data from the National Institute of Meteorology was used as input for the simulation together with the modeling already elaborated. The simulation showed optimistic results in relation to the reality, in which the performance met the superior level, while in the measurement in loco the performance was classified as minimum. Difficulties and limitations were observed throughout the work, including the disclosure of software operation, climate files and the variety of materials available in thermal characterization libraries.

Keywords: Computer simulation; thermal performance; ABNT NBR 15575 (2013); EnergyPlus; OpenStudio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Requisitos e partes da norma ABNT NBR 15575 (2013).	16
Figura 2 – Interface do <i>EnergyPlus</i>	20
Figura 3 – Interface do <i>Design Builder</i>	21
Figura 4 – Interface do <i>SketchUp</i> com o <i>plug-in OpenStudio</i>	21
Figura 5 – Localização do Condomínio em estudo.	24
Figura 6 – Planta de Situação	24
Figura 7 – Locação da residência em estudo	25
Figura 8 – Vista do condomínio - FOTOS A e B, e Vista frontal da residência em estudo - FOTO C	25
Figura 9 – Planta baixa da residência	26
Figura 10 – Corte AA	27
Figura 11 – Corte BB	27
Figura 12 – Médias Mensais de dados climáticos da cidade de Palmas entre os anos 2000 e 2018, da estação convencional do INMET, código OMM 83033 ..	29
Figura 13 – Modelagem da edificação isolada.	33
Figura 14 – Representação de paredes (A) e laje com lajota (B), utilizadas na simulação	34
Figura 15 – Modelagem da edificação seriada.	36
Figura 16 – Definição das Zonas térmicas em estudo na edificação.	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas obtidas por simulação para edificação seriada	38
Gráfico 2 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro	39
Gráfico 3 – Temperaturas internas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro e externa registrada pelo INMET.	40
Gráfico 4 – Temperaturas obtidas por simulação para edificação isolada	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais inseridas no <i>software</i>	35
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivo Geral.....	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
2	SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	11
2.1	DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	11
2.2	DESEMPENHO TÉRMICO x CONFORTO TÉRMICO.....	12
2.3	NORMAS DE DESEMPENHO	14
2.3.1	ABNT NBR 15220 (2005)	14
2.3.2	ABNT NBR 15575 (2013)	15
2.3.3	A atual revisão das normas de desempenho.....	17
2.4	SIMULAÇÃO POR <i>SOFTWARE</i>	18
2.4.1	Panorama da simulação computacional no Brasil	18
2.4.2	Softwares de simulação.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	EDIFICAÇÃO EM ESTUDO	23
3.2	CLIMA DE PALMAS – TO.....	28
3.3	ARQUIVOS CLIMÁTICOS	30
3.4	MODELAGEM E SIMULAÇÃO	31
4	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	37
4.1	EDIFICAÇÃO SERIADA.....	38
4.2	EDIFICAÇÃO ISOLADA.....	41
4.3	VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO.....	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Projetar habitações sustentáveis que atendam aos requisitos operacionais é um grande desafio, incluindo também no projeto a promoção da melhoria no ambiente interno, ao invés de somente atender aos requisitos mínimos exigidos (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Garcia e Souza (2017) destacam a necessidade de englobar o debate do desenvolvimento sustentável no cenário atual da construção civil, incluindo, dentre outros temas, a avaliação do consumo de matéria prima utilizada, dos resíduos gerados e seu impacto no meio ambiente.

Nesse discurso, insere-se o conceito de arquitetura bioclimática, baseada na harmonia entre o meio ambiente local e as edificações nele inseridas, em que a utilização de recursos naturais seja otimizada, objetivando o conforto dos usuários e a eficiência energética. Estudos consolidados, como o de Olgyay (1963), demonstram quão antiga é a prática da adaptação das construções ao clima local e sua importância para obtenção do conforto de maneira sustentável, destacando a importância dessa boa prática para a qualidade de projetos modernos.

Segundo Frota e Schiffer (2006), o ser humano apresenta melhores condições de saúde quando seu organismo não está exposto a condições de estresse, incluindo o térmico. As autoras afirmam que é dever da arquitetura fornecer condições em que os usuários da edificação se encontrem em situação de conforto térmico.

Para a obtenção do conforto térmico, já existem estratégias disseminadas entre arquitetos e engenheiros, se discuta a precisão das tomadas de decisões relacionadas ao projeto arquitetônico. A utilização de brises, por exemplo, objetiva a redução da incidência de raios solares, diminuindo a temperatura no ambiente, contudo, não se sabe o quanto essa estratégia vai interferir quantitativamente e se somente ela será suficiente para a obtenção de um ambiente confortável. Para tanto, *softwares* foram desenvolvidos para simular o desempenho térmico de uma edificação as condições climáticas na qual está submetida.

A ABNT NBR 15.575 (2013) – Edificações Habitacionais – Desempenho – reconhece três métodos para avaliação do desempenho térmico,

sendo eles o simplificado, a simulação e a medição *in loco*. Tal fator demonstra o reconhecimento no uso de simulações, desde que bem empregadas e avaliadas.

Segundo Grigoletti e Sattler (2003), simulações por *softwares* são amplamente utilizadas para verificação do desempenho térmico, contudo, devido à complexidade e numerosidade dos fenômenos físicos envolvidos nas trocas térmicas, os resultados obtidos são apenas aproximados ao da realidade. Já os resultados obtidos em medição *in loco* possuem limitações geradas pelos equipamentos utilizados e características climáticas específicas dos dias avaliados. Sendo assim, uma opção de validação dos métodos já utilizada é a comparação de seus resultados.

Nesse contexto, buscou-se na cidade de Palmas, pesquisas com medição *in loco*, que possibilitassem a comparação com a simulação computacional, pois em alguns trabalhos ocorreram inconsistências no que se refere à norma de desempenho, principalmente no intervalo de medição adotado. Dentre as diversas pesquisas, Aguiar (2020) realizou uma avaliação por medição *in loco* de maneira mais consistente e detalhada de uma residência numa edificação multifamiliar seriada, no período de clima quente e seco na cidade. A análise se deu pela comparação da temperatura do ar externa com a medida no interior dos cômodos da residência. A realização da simulação da mesma habitação mostra sua relevância para demonstrar a confiabilidade dos resultados obtidos por *software* ao serem confrontados com os medidos no local.

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar de estratégias arquitetônicas que visam um melhor desempenho para a edificação serem conhecidas no Brasil, sua aplicação ainda é restrita. Nem sempre fatores relativos à adequação dos materiais e da geometria do edifício no que se refere à compatibilidade ao clima local são levados em consideração na fase de projeto. Frequentemente, é dada prioridade à estética e a materiais que facilitam a execução, em vez de soluções relacionadas ao desempenho térmico (BRITO; AKUTSUA; TRIBESS, 2010).

Apenas uma pequena parcela da população tem conhecimento de normas regulamentadoras. A situação se mostra mais crítica ainda quando se trata das normas que abordam o desempenho térmico. Assim, não usufruem do direito que possuem ao adquirir uma moradia.

Na cidade de Palmas – TO, onde o clima é predominantemente quente, a adequação do edifício ao clima local se torna ainda mais relevante. Neste tipo de cidade, onde as condições climáticas não são favoráveis ao conforto térmico dos moradores, a realização de estudos e aplicações de estratégias para obtenção do conforto são importantes para reduzir o gasto energético em equipamentos de climatização.

A aplicação de estratégias construtivas para adequação ao clima por si só já traz um diferencial para a edificação, contudo não se sabe exatamente como tais estratégias irão repercutir no resultado final. Para tanto, a simulação por modelos gerados por *softwares* corrobora nesse sentido, pois possibilitam a visualização prévia do desempenho térmico da edificação. Sendo assim, surge a necessidade de verificar a confiabilidade deste método para uma edificação seriada na cidade de Palmas – TO.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar o desempenho térmico de uma edificação residencial seriada em Palmas – TO, a partir dos resultados obtidos pelos métodos da simulação computacional em relação ao da medição *in loco* realizada por Aguiar (2020), de acordo com a ABNT NBR 15575 (2013).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a confiabilidade da simulação do desempenho térmico em edificações seriadas na cidade de Palmas – TO;
- Realizar uma avaliação crítica dos dados climáticos utilizados para simulação computacional;
- Comparar o desempenho térmico de edificações seriadas e isoladas.

2 SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

2.1 DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Borges (2008), o edifício deve apresentar certas características que lhe permitam realizar as funções previstas em sua concepção quando submetido às condições de uso e exposição, tendo um bom desempenho quando atende aos requisitos de projeto. Este conceito se aproxima bastante ao descrito na ABNT NBR 15575 (2013, p. 6), onde desempenho é descrito como “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas”.

Para que um bom desempenho seja atingido, a edificação deve atender aos requisitos de desempenho, definido pela ABNT NBR 15575 (2013, p. 8) como “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário”. Contudo, analisar características qualitativas de habitações pode se tornar uma tarefa imprecisa, sujeita a interpretações, por este motivo, a ABNT NBR 15575 (2013, p. 6) criou os critérios de desempenho, conhecidos como “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados”.

Segundo Hunemeier e Spezia (2017), uma das razões para a criação da norma de desempenho, especificamente no que diz respeito ao desempenho térmico, foi o aumento do consumo de energia, surgindo a necessidade de incluir o conceito de eficiência energética na construção civil. Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014) a eficiência energética na arquitetura está atrelada ao potencial da edificação de proporcionar conforto ao usuário com baixo consumo de energia, sendo considerado mais eficiente que outro edifício que possua as mesmas condições e consuma mais energia.

Basso, Nogueira e Silva (2015), mostram em seu estudo que a construção civil brasileira apresenta problemas em relação à eficiência energética por ser imediatista e conservadora, optando por dar prioridade a processos de produção rápidos e na utilização de materiais clássicos. Estes muitas vezes não são adequados para a edificação no local, conseqüentemente, não contribuindo para a eficiência energética da construção. Os autores citam

ainda que o consumo energético nas edificações acontece desde a fabricação, transporte e construção do edifício até o momento da ocupação, onde a energia é gasta para iluminação e climatização, dentre outras finalidades. Tomadas de decisões eficientes nas etapas de projeto e execução possibilitam que a construção ocorra de forma econômica e confortável para os usuários, aumentando, portanto, seu desempenho.

Sob esta ótica, Borges (2008) afirma que o desafio da construção civil no âmbito do desempenho é traduzir os dados qualitativos obtidos pelas necessidades dos usuários em dados quantitativos, que são os critérios de desempenho, de forma que se tenha uma avaliação objetiva com resultados aplicados viáveis tecnicamente e financeiramente.

Além disso, o desempenho de uma edificação depende das condições de uso e exposição às quais está sujeita. Sendo assim, uma edificação executada da mesma forma pode apresentar um bom desempenho em um local, e ser inadequada em outro, principalmente o desempenho térmico, que depende das condições climáticas locais.

2.2 DESEMPENHO TÉRMICO X CONFORTO TÉRMICO

Ao avaliar o desempenho térmico de um edifício, trabalha-se o comportamento físico da construção em resposta à influência do meio ambiente externo e dos usuários em relação aos requisitos quantitativos e qualitativos preestabelecidos (LAMBERTS *et al.*, 2010). Em resumo ao conceito de desempenho visto na norma e às considerações de Lamberts, o desempenho térmico pode ser definido como o comportamento de um edifício sujeito às condições climáticas e do uso de seus ocupantes.

Ainda segundo Lamberts *et al.* (2010), a resposta da edificação ao ser submetida às condições climáticas externas e ao comportamento do usuário caracteriza seu comportamento térmico, que influencia na variação da umidade e temperatura interna dos ambientes. Esta variação implica diretamente no conforto térmico dos ocupantes, abordado a seguir.

Para Santos (2008), o conforto térmico pode ser descrito como o nível de satisfação do usuário em um ambiente, relacionado à temperatura, à umidade, à velocidade do ar, à atividade desenvolvida e à vestimenta. Estes fatores podem oferecer uma sensação de bem-estar para os usuários da edificação. Contudo

esta sensação é passível de variação, dependendo da diferença de hábitos, cultura, dentre outras particularidades.

Segundo Roriz (2008), o organismo humano pode ser comparado a uma “máquina térmica” que produz calor, o qual precisa ser dissipado na mesma proporção em que é gerado, a fim de manter sua temperatura corporal. Desequilíbrios nas trocas de calor do ser humano com o ambiente ocasionam sensações desagradáveis, como frio ou calor.

O conforto térmico do homem somente é possível em pequenas faixas de condições ambientais, fora das quais estará submetido ao desconforto (RORIZ, 2008). Para tanto, tornam-se necessárias edificações em que seus ambientes apresentem características mais próximas possíveis de tais faixas para o bem-estar de seus usuários.

O conforto térmico do ser humano está submetido a diversos fatores, dentre eles as condições ambientais do local frequentado. As principais variáveis ambientais que interferem no conforto térmico e são aplicadas para simulação computacional são apresentadas a seguir.

- Temperatura do ar: Considerada a principal variável do conforto térmico, é a temperatura de bulbo seco do ar no ambiente, expresso em °C. (LAMBERTS *et al*, 2016). Pode ser obtida por diversos equipamentos, dentre eles o termômetro comum ou termopar.
- Temperatura média radiante: “A temperatura radiante média representa a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é igual ao ambiente real não uniforme” (LAMBERTS *et al.*, 2016, p. 11). É obtida a partir de cálculos que utilizam a temperatura de termômetro de globo e a temperatura do ar, além de outros métodos.
- Velocidade do ar: “É o módulo do vetor velocidade do fluxo de ar, expresso em m/s. Deve ser levada em consideração nos estudos de conforto térmico para a determinação de transferência de calor por convecção ou por evaporação” (WALLAUER, 2003, p. 12). Pode ser mensurada a partir de um anemômetro giratório ou de um termo-anemômetro, sendo o primeiro adequado para ambientes externos e o segundo para ambientes internos.

- Umidade relativa do ar: “A umidade é caracterizada pela quantidade de vapor d’água contido no ar úmido em relação à quantidade de vapor d’água contido no ar saturado para uma determinada condição de temperatura e pressão” (LAMBERTS *et al*, 2016, p. 14). Pode ser obtida utilizando uma carta psicométrica, já conhecendo a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido.

2.3 NORMAS DE DESEMPENHO

2.3.1 ABNT NBR 15220 (2005)

A ABNT NBR 15220 (2005) foi a primeira norma que abordou o desempenho térmico de edificações no Brasil. Ela é dividida em cinco partes, com temas específicos em cada uma delas.

Na primeira parte, são estabelecidos definições, símbolos e unidades de termos referentes ao desempenho térmico de edificações. Em seguida, na segunda parte, é demonstrado o método de cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de habitações, sendo eles: a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico e o fator solar. Já na terceira parte, é apresentada a divisão do Brasil em 8 zonas bioclimáticas, cada uma com suas respectivas recomendações e estratégias para a obtenção de um bom desempenho térmico. Na quarta parte da norma, é descrito o método para medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Por fim, na quinta parte, é apresentado um método com mesmo fim que o da parte anterior, contudo ele é realizado a partir de técnicas fluximétricas.

Algumas das características térmicas dos materiais descritas nesta norma são de grande relevância para o presente estudo, por isso serão descritas a seguir:

- Absortância à radiação solar: “Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa da radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 3).
- Emissividade: “Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 3).

- Condutividade térmica: Característica do material “no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 2). Dado em $\text{W}/(\text{m.K})$.
- Resistência térmica: “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 2). Dado em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$.
- Capacidade térmica: “Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 2). Dado em J/K .
- Calor específico: “Quociente da capacidade térmica pela massa” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 2). Dado em $\text{J}/(\text{kg.K})$.
- Transmitância à radiação solar: “Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento” (ABNT NBR 15220, 2005, p. 3).

A ABNT NBR 15220 (2005) propõe uso de estratégias para o desempenho térmico apenas para edificações unifamiliares de interesse social com até três pavimentos. Devido a essa restrição, pouco tempo depois foi desenvolvida a norma de desempenho para edificações residenciais, com sua primeira versão lançada em 2008, a ABNT NBR 15575 (2008), ganhando nova versão cinco anos depois.

2.3.2 ABNT NBR 15575 (2013)

Embora tenha sido publicada em 2008, a ABNT NBR 15575 (2008) entrou em vigor somente em maio de 2012. Tendo como objetivo o estabelecimento de exigências mínimas de desempenho, vida útil e garantia dos vários sistemas presentes na edificação, independentemente dos materiais e do sistema construtivo empregado. Após solicitada uma revisão da norma, a mesma teve a publicação de sua versão final em fevereiro de 2013, entrando em vigor no mês de julho do mesmo ano.

A norma se divide em seis partes, como é mostrado na Figura 1, tratando desde os requisitos gerais dispostos na primeira parte, aos requisitos para sistemas específicos, como o estrutural e pisos internos, apresentados na segunda e terceira parte, respectivamente. A quarta parte aborda os sistemas de vedações verticais internas e externas, enquanto a quinta descreve sobre a cobertura e, por fim, é discutido o sistema hidrossanitário, na sexta e última parte.

Figura 1 – Requisitos e partes da norma ABNT NBR 15575 (2013).

		Requisitos dos Usuários												
		Segurança Estrutural	Segurança contra Incêndio	Segurança no Uso e Operação	Desempenho Acústico	Desempenho Térmico	Desempenho Luminício	Estanqueidade	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Acessibilidade	Conforto Antropodinâmico e Tátil	Durabilidade	Manutenibilidade	Impacto Ambiental
Partes da Norma	Parte 1: Requisitos gerais													
	Parte 2: Sistemas estruturais													
	Parte 3: Sistemas de pisos													
	Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas													
	Parte 5: Sistemas de coberturas													
	Parte 6: Sistemas hidrossanitários													

Fonte: ASBEA (2015, p. 6).

Para cada um dos sistemas discutidos na norma, existem requisitos para o enquadramento do seu desempenho. Caso o sistema atenda às características básicas de desempenho, diz-se que atende aos requisitos mínimos (M). Contudo, caso se objetive elevar o padrão de desempenho da edificação existem os requisitos intermediários (I) e os requisitos superiores (S) de desempenho, elaborados para promover a melhoria da qualidade dos edifícios.

Na norma são descritos três métodos para a avaliação do desempenho térmico das edificações, sendo eles o simplificado, a medição *in loco* e a simulação. O método simplificado consiste na verificação do atendimento aos requisitos exigidos para as fachadas e coberturas por meio de cálculos simples. Embora o método simplificado promova um resultado rápido para a

avaliação do desempenho, seus resultados podem apresentar incertezas (SORGATO *et al.*, 2014).

A avaliação do desempenho térmico *in loco* possui caráter informativo e se dá pela medição da temperatura de bulbo seco do ar no centro dos cômodos de edificações em escala real. Já o método de avaliação por simulação, verifica-se a partir de *software* a adequação do edifício em relação aos requisitos encontrados na Parte 1 da norma.

2.3.3 A atual revisão das normas de desempenho

Visando a adequação e a correção de inconsistências apontadas em diversos trabalhos acadêmicos, atualmente a ABNT NBR 15.575 (2013) encontra-se em processo de revisão. Fazem parte da comissão desde estudiosos já reconhecidos nas diversas áreas a entusiastas que desejam colaborar para melhoria da norma.

Em sua palestra sobre a revisão dessa norma, Lamberts (2020), integrante da comissão a frente das normas de desempenho e outras questões envolvendo eficiência energética, comentou de forma resumida sobre os avanços dos trabalhos revisionais quanto ao desempenho térmico até agosto de 2020. As principais mudanças serão no método de simulação computacional, mas também há possíveis mudanças na ABNT NBR 15.575 (2013) que implicam na ABNT NBR 15220 (2008), no que diz respeito ao método simplificado. Neste, poucas serão as alterações, concentrando-se principalmente ao percentual de elementos transparentes nas fachadas dos ambientes. Já no que tange à simulação, as mudanças serão mais significativas, com a inclusão de cargas provenientes de pessoas, inclusão das características dos materiais das esquadrias e do entorno da edificação avaliada, além da própria avaliação ser baseada na temperatura operativa, estão entres as propostas de mudanças a serem implantadas até o momento da palestra.

Nesse processo, após estudos iniciais, o palestrante informou que foram selecionadas cidades representativas situadas no centro de cada Zona Bioclimática do Brasil, sendo selecionada a cidade de Palmas – TO para representar a Zona Bioclimática 7. Estas cidades tornaram-se ambientes de teste nos estudos de revisão para as simulações de modelos construtivos que norteiam as tomadas de decisões dos requisitos exigidos em cada Zona Bioclimática. O

fato de ter sido selecionada demonstra a crescente importância da cidade de Palmas no debate sobre desempenho térmico e seu papel estratégico na referida Zona Bioclimática.

2.4 SIMULAÇÃO POR SOFTWARE

A simulação térmica é baseada em modelos matemáticos que permitem a reprodução simplificada da realidade de uma edificação, permitindo prever aspectos de seu desempenho, além de explorar e compreender as trocas térmicas que nele ocorrem (CARLO; LAMBERTS, 2010).

Para Sacht (2008), a informática se mostrou um instrumento importante para análise do desempenho térmico em fase de projeto. A partir de simulações, é possível tomar decisões que otimizem o desempenho da edificação, já que a mesma pode ser testada e ajustada previamente à implantação.

Segundo Lamberts, Ghisi e Ramos (2006), o desempenho térmico de uma edificação está sujeito principalmente às decisões realizadas nas primeiras etapas do projeto arquitetônico. Para Lima (2005, pg. 51) “as análises de desempenho térmico da edificação se iniciam com um modelo simplificado baseado nos primeiros esboços”, assim, deve ser elaborado um projeto mais criterioso, visando reduzir possíveis problemas no desempenho do edifício, e nesse sentido, a simulação possibilita a avaliação ainda na fase de concepção do projeto.

A simulação de edificações é uma prática comum em países europeus, contudo no Brasil seu uso está concentrado em instituições de ensino e pesquisa, pouco utilizadas no mercado da construção civil (SACHT, 2008). Para Sacht (2008), a complexidade das ferramentas e a falta de programas nacionais são determinantes para a baixa popularidade da simulação no Brasil, sugerindo a elaboração de interfaces simplificadas desses aplicativos como solução para o problema.

2.4.1 Panorama da simulação computacional no Brasil

De acordo com a revisão feita por Lopes e Silva (2019), as primeiras pesquisas relacionadas à simulação do desempenho de edifícios são datadas da

década de 1980, contudo foi apenas na década de 1990 que o consumo de energia nos edifícios entrou em pauta devido ao baixo nível de água nas usinas hidrelétricas. Já no começo dos anos 2000, com o Decreto n. 4059, que regulamenta os dispostos em lei sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001), o uso de simulações visando a eficiência energética dos edifícios começou a ser estimulado.

Em 2009, a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais (RTQ-C) foi publicado, permitindo a classificação da eficiência energética dos edifícios por meio de cálculos e também por simulação. Mas foi somente em 2013, com a publicação da ABNT NBR 15.575 que a simulação do desempenho energético teve seu maior reconhecimento, por ser uma metodologia recomendada pela norma.

Especificamente, na simulação do desempenho térmico, é a partir do BIM que temos a troca de informações entre programas modeladores, como o SketchUp (TRIMBLE, 2017), e analíticos, como o EnergyPlus (DOE, 2019). Neste contexto, a aplicação do Building Information Modeling (BIM) com sua capacidade de colaboração e intercâmbio de informações para gerar modelos computacionais integrados visando facilitar e melhorar a produtividade, o tempo de execução e a confiabilidade de projetos da construção civil é uma ferramenta que tem tomado atenção do setor acadêmico e industrial (GARCIA; SOUZA, 2017).

2.4.2 Softwares de simulação

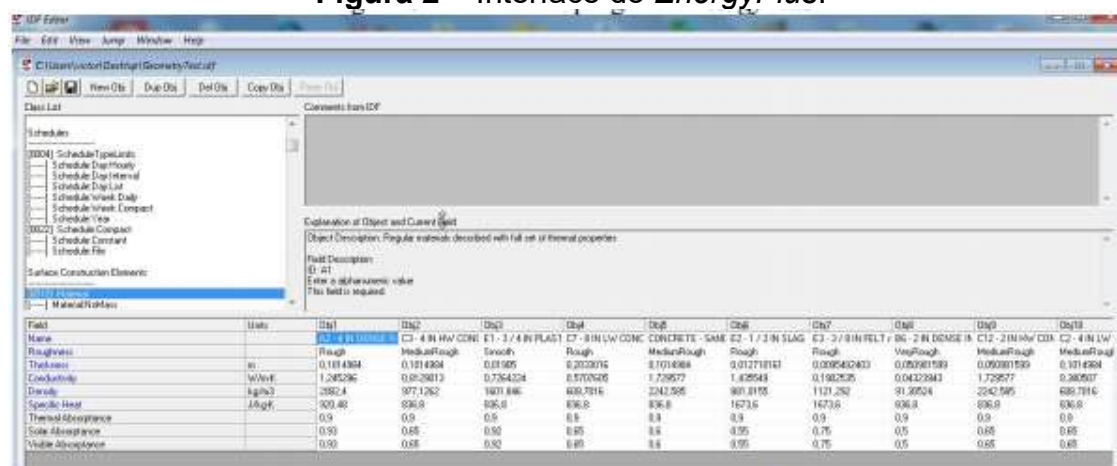
Dentre os *softwares* utilizados para simulação do desempenho térmico está o *EnergyPlus*, o qual faz a simulação em si e possui recomendação da ABNT NBR 15575 (2013). Contudo, visando tornar o processo de simulação mais amigável, o uso de *softwares* para modelagem da edificação em conjunto com o *EnergyPlus* é bem recorrente. O *SketchUp* é uma destas ferramentas de modelagem, outra é o *Design Builder* (2020), entretanto esta última possui o método de cálculo do *EnergyPlus* já embutido em sua codificação.

O aplicativo de simulação *EnergyPlus*, que teve sua primeira versão lançada em abril de 2001, foi desenvolvido por uma grande equipe, envolvendo a Universidade de Illinois, o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, a Dalsey,

Hillblom e Lynn (DHL) Consulting, a Universidade Estadual de Oklahoma, a GARD Analytics, o Centro de Energia Solar da Flórida, o Laboratório Nacional de Energia Renovável e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE).

Baseado nos programas BLAST e DOE-2, o *EnergyPlus* (Figura 2) é uma das ferramentas que possibilita o estudo do desempenho termo-energético. Trata-se de um *software* utiliza em sua metodologia de simulação zonas múltiplas com algoritmos para transferência de calor em componentes de construção multicamadas, ventilação, ganho solar e ganho térmico interno, sistemas de energia de construção e manutenção em edifícios (HENZE; NEUMANN, 2011). A análise do desempenho térmico dos componentes construtivos, da eficiência energética e do uso da ventilação natural estão entre os resultados que podem ser obtidos com o aplicativo. Contudo, por não possuir uma plataforma de desenho e sua modelagem ser baseada na inserção de pontos através de coordenadas, costuma-se utilizar o modelo do edifício gerado por outro *software*.

Figura 2 – Interface do *EnergyPlus*.



Fonte: Santana (2016, p. 37).

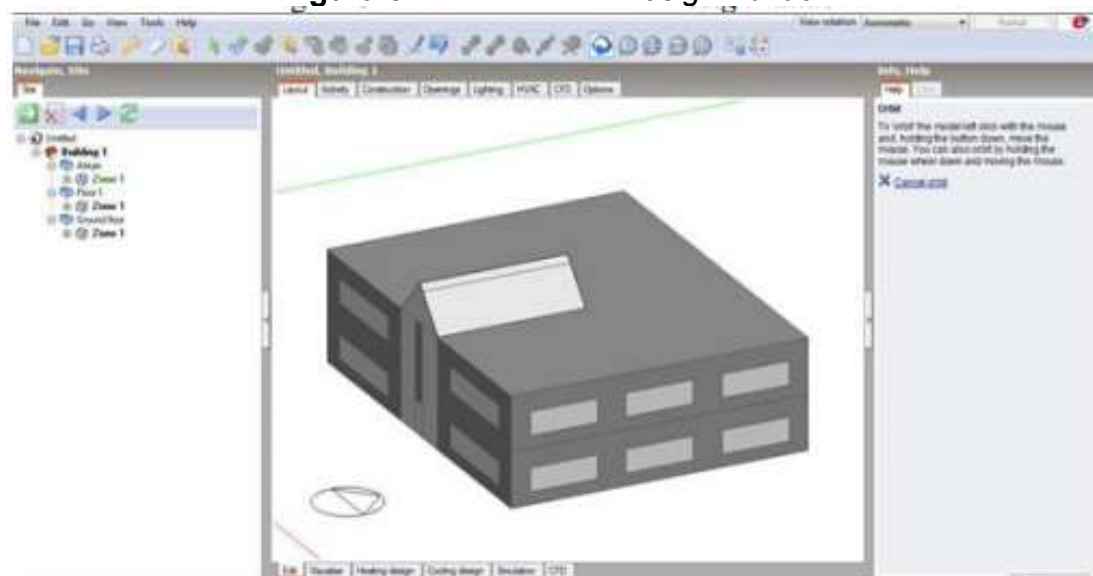
Divulgado como um conjunto profundamente integrado de ferramentas e de alta produtividade para auxiliar no projeto e na avaliação sustentável do edifício, o *Design Builder* (Figura 3) possui ferramentas de modelagem de edificações que simplificam a simulação térmica do *EnergyPlus*. Ademais, em contraste com o *EnergyPlus*, o *Design Builder* possui uma interface mais amigável e intuitiva, além de uma extensa biblioteca de materiais.

O *SketchUp* (Figura 4) é um aplicativo para modelagem 3D inicialmente desenvolvido pelo *Google* e que posteriormente tornou-se

propriedade da *Trimble*. Possui compatibilidade com diversos *plug-ins*, dentre eles o *OpenStudio* (2017), o qual trabalha em conjunto para fornecer os dados de entrada para simulação do *EnergyPlus* e se apresenta na forma de uma barra de ferramentas.

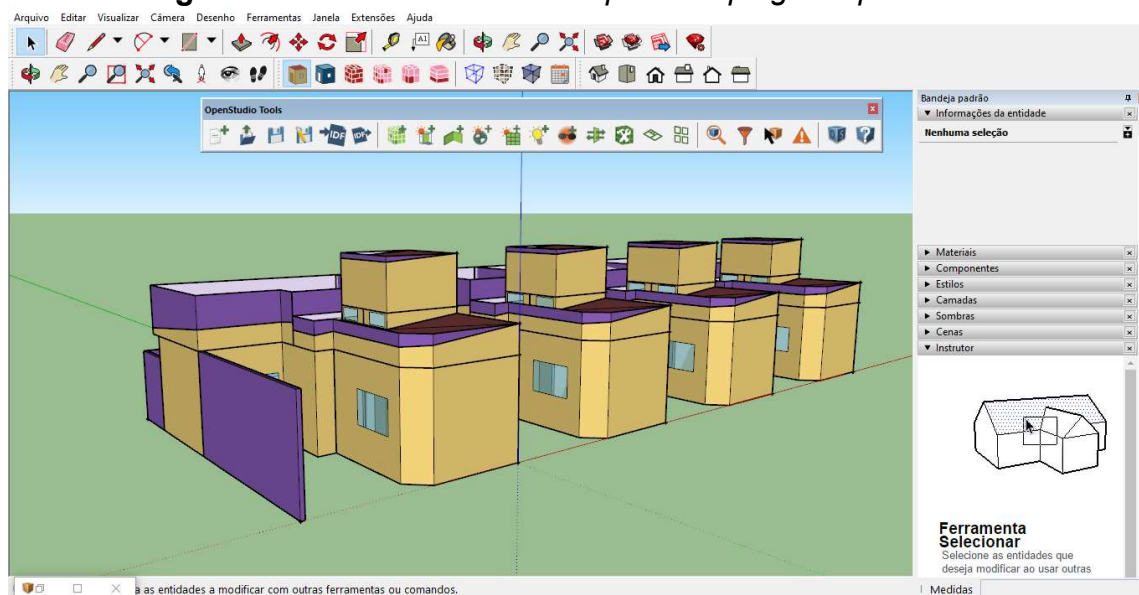
Ao realizar uma modelagem no *SketchUp* visando analisar o desempenho térmico, deve-se utilizar as ferramentas do *OpenStudio*. As ferramentas básicas do *SketchUp* não são funcionais para este tipo de estudo, e caso utilizadas podem gerar erros no modelo.

Figura 3 – Interface do Design Builder.



Fonte: Santana (2016, p. 38).

Figura 4 – Interface do SketchUp com o plug-in OpenStudio.



Fonte: Autoria própria (2020).

No procedimento para preparação dos dados para simulação, o *SketchUp* permite o desenho do edifício, gerando um modelo que é configurado pelo *OpenStudio* e calculado pelo algoritmo do *EnergyPlus*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como pesquisa experimental, pois há manipulação de dados sobre uma realidade específica. Dentre as etapas de trabalho, inicialmente houve a elaboração do referencial teórico, onde se buscou explicar os principais conceitos sobre o desempenho térmico e sua análise. A etapa seguinte se deu pela modelagem e simulação da construção já avaliada pelo método da medição *in loco* por Aguiar (2020).

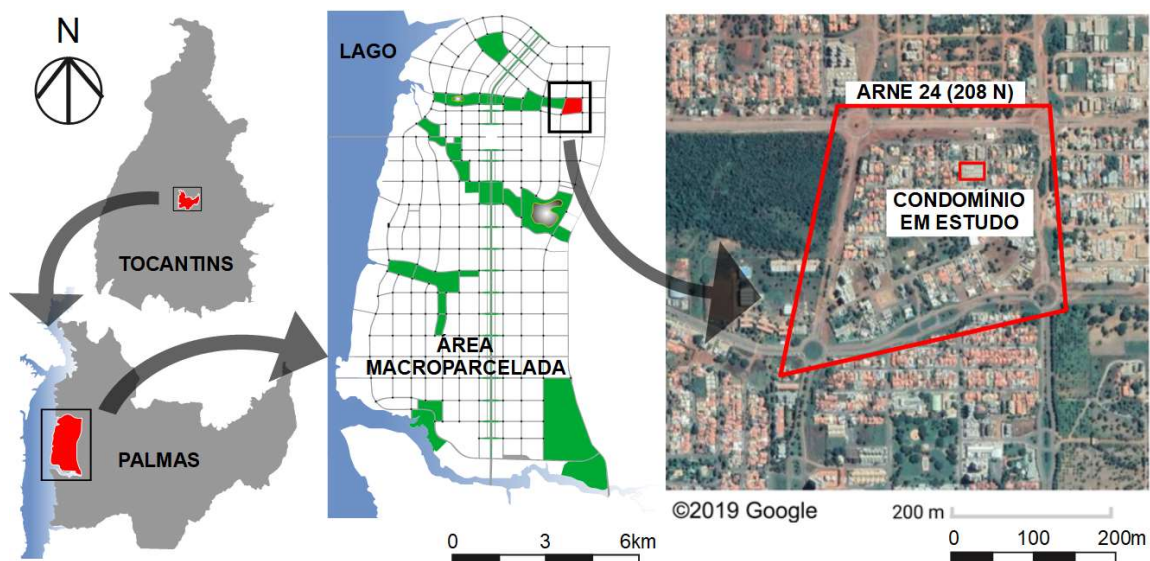
A concepção da modelagem foi realizada pelo *software SketchUp*, devido a sua interface amigável e sua fácil obtenção, juntamente com seu *plug-in OpenStudio*, disponibilizado gratuitamente. As pranchas de projeto arquitetônico cedidas pela construtora e o memorial descritivo serviram de base para a modelagem, de forma que se aproxime o melhor possível da construção real. Posteriormente à modelagem, configurou-se o arquivo modelado, fornecendo informações como os arquivos climáticos, propriedades de materiais e superfícies e dos ambientes analisados. Após a configuração, o arquivo foi processado pelo *EnergyPlus*, o qual se encontra embutido na versão do OpenStudio utilizada, possibilitando a simulação e visualização dos resultados.

Concluída a simulação, foi verificada se a edificação demonstrou o mesmo comportamento térmico observado no estudo de Aguiar (2020) e o atendimento aos requisitos térmicos mínimos presentes na ABNT NBR 15575 (2013).

3.1 EDIFICAÇÃO EM ESTUDO

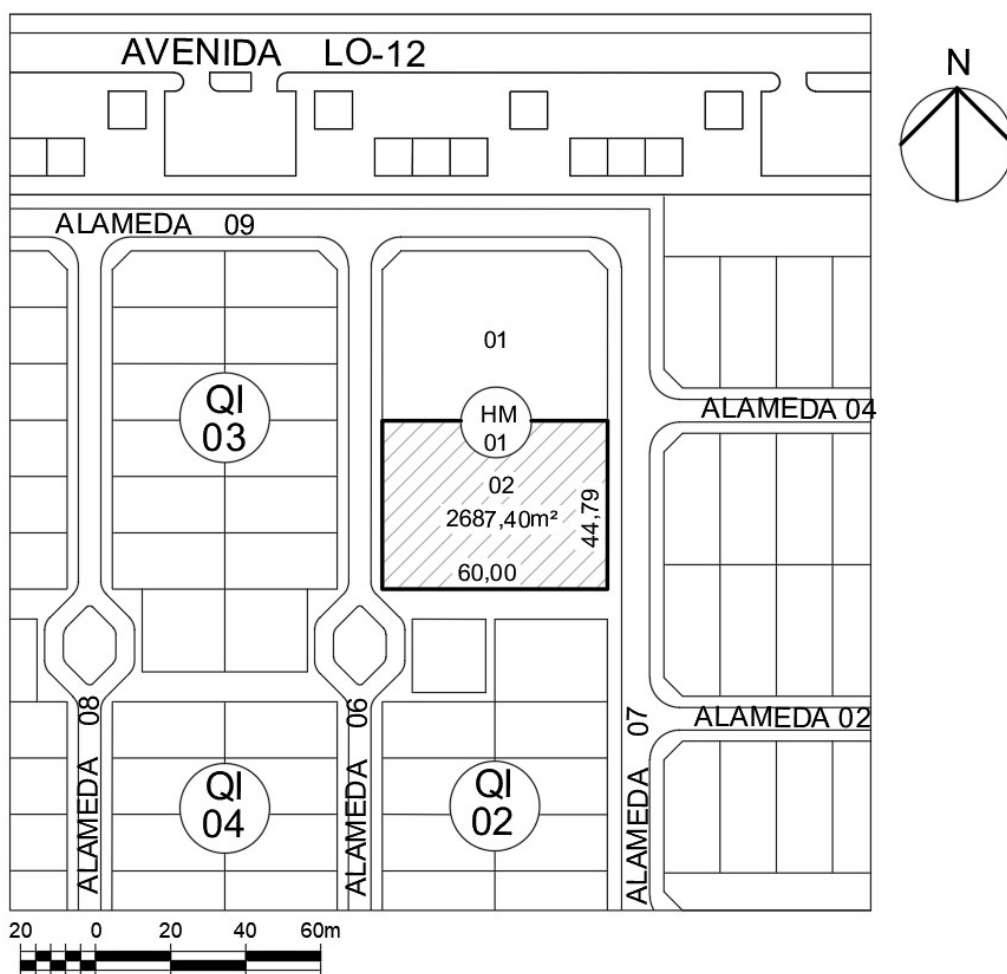
A edificação em estudo localiza-se na Quadra ARNE 24 (208 Norte), em Palmas – TO. Trata-se de uma casa de um condomínio térreo multifamiliar seriado. O condomínio encontra-se em fase de ocupação, contudo, na época da avaliação *in loco* (setembro de 2019) realizada por Aguiar (2020), a casa ainda estava vazia e sem fontes internas de calor, como exigido pela ABNT NBR 15575 (2013). Nas Figuras a seguir, são representadas a localização da cidade no estado do Tocantins, a planta de situação do condomínio, as plantas e cortes da residência, além de fotos que permitem uma visualização da edificação em si.

Figura 5 – Localização do Condomínio em estudo.



Fonte: Google (2019), organizado pelo autor (2020).

Figura 6 – Planta de Situação



Fonte: Projeto arquitetônico (2017), organizado e adaptado pelo autor (2020).

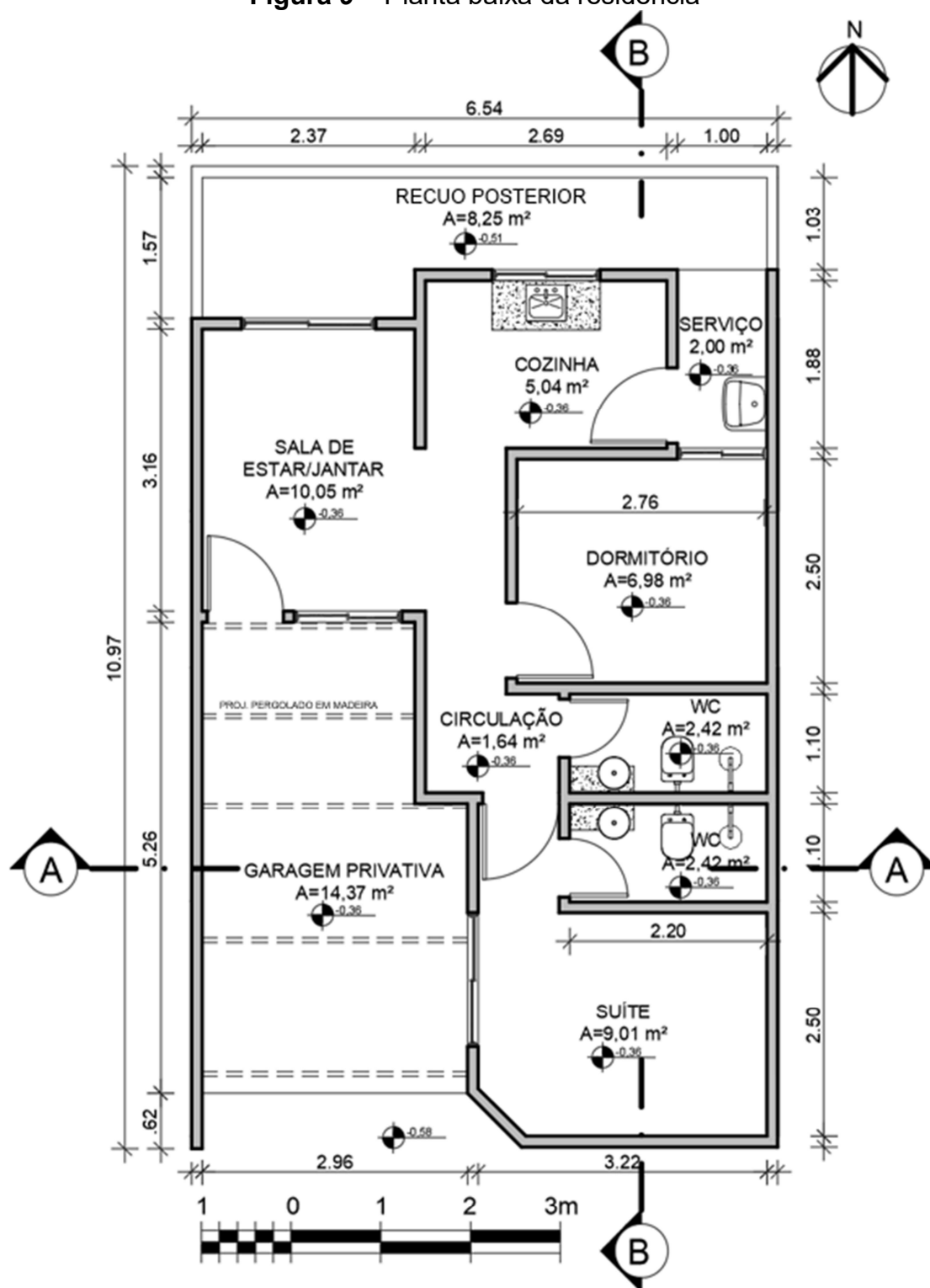
Figura 7 – Locação da residência em estudo

Fonte: Projeto arquitetônico (2017), organizado e adaptado pelo autor (2020).

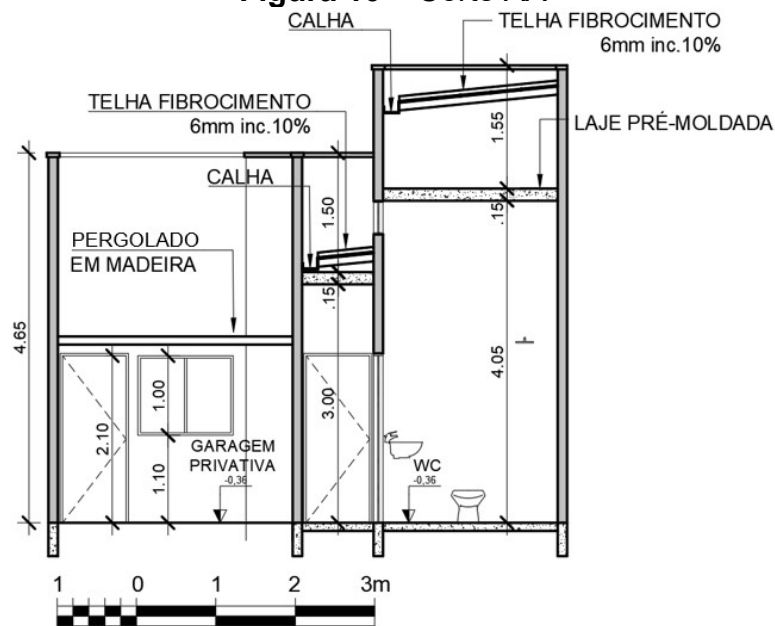
Figura 8 – Vista do condomínio - FOTOS A e B, e Vista frontal da residência em estudo - FOTO C

Fonte: Fotos SILVA, L. F. G. (2019).

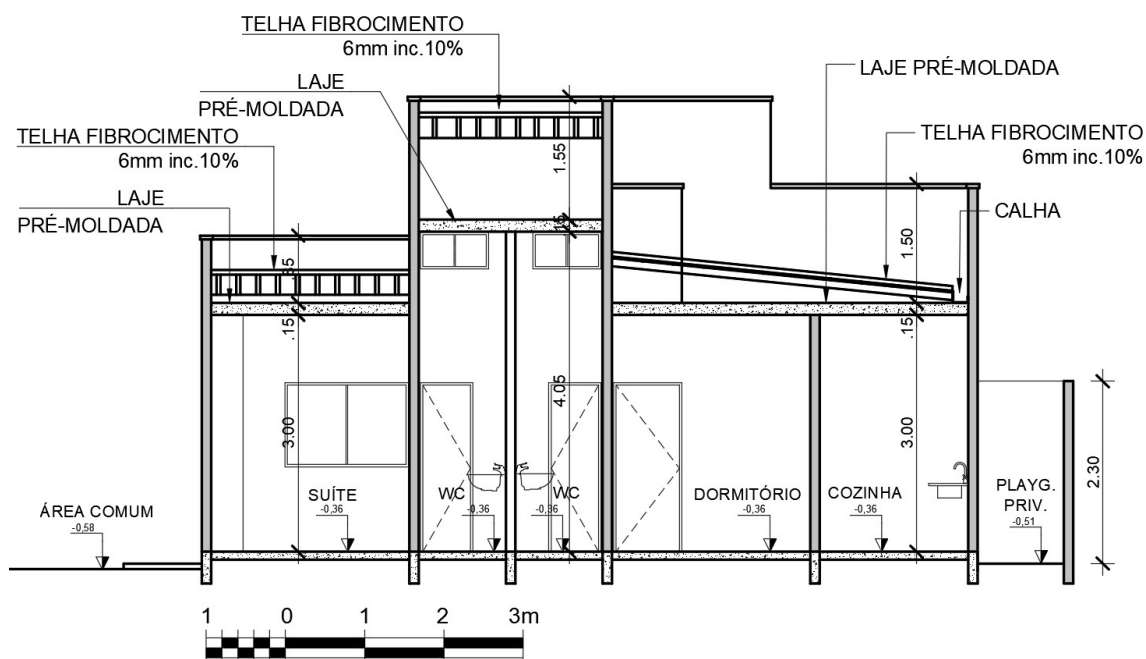
Figura 9 – Planta baixa da residência



Fonte: Projeto arquitetônico (2017), organizado e adaptado pelo autor (2020).

Figura 10 – Corte AA

Fonte: Projeto arquitetônico (2017), organizado e adaptado pelo autor (2020).

Figura 11 – Corte BB

Fonte: Projeto arquitetônico (2017), organizado e adaptado pelo autor (2020).

Contando com vinte e quatro residências, cada uma com dois quartos, sendo uma suíte, banheiro social, sala de estar/jantar, cozinha, área de serviço, playground privativo e vaga de garagem, o condomínio foi edificado em concreto armado e laje pré-moldada. Como vedações, foram utilizadas paredes de blocos cerâmicos com dimensões de 9 x 19 x 29 cm, 12 x 19 x 29 cm ou 14 x 19 x 29

cm, assentadas com argamassa de cimento, cal e areia. As esquadrias são de alumínio e vidro temperado, já a telhas são de fibrocimento de 6 mm e inclinação de 10%.

3.2 CLIMA DE PALMAS – TO

De acordo com Silva (2004), Palmas – TO apresenta predominantemente o clima tropical quente e úmido, com duas estações bem distintas: uma seca e outra úmida. O Atlas do estado do Tocantins (TOCANTINS, 2012) indica que a área urbana de Palmas da cidade possui clima C2wA'a', Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno (classificação pelo método de Thornthwaite).

Silva e Souza (2018) realizaram um trabalho onde foram analisados o ritmo climático e o conforto térmico de Palmas dos anos de 1997 e 2013. Segundo os dados utilizados pelos autores, no ano de 1997, os ventos chegaram à velocidade de 12,3 m/s, tendo o leste como direção predominante. Já a amplitude térmica mostrou valor máximo de 23°C no período seco deste ano, juntamente com baixos percentuais de umidade relativa do ar, tendo 17% como valor mínimo.

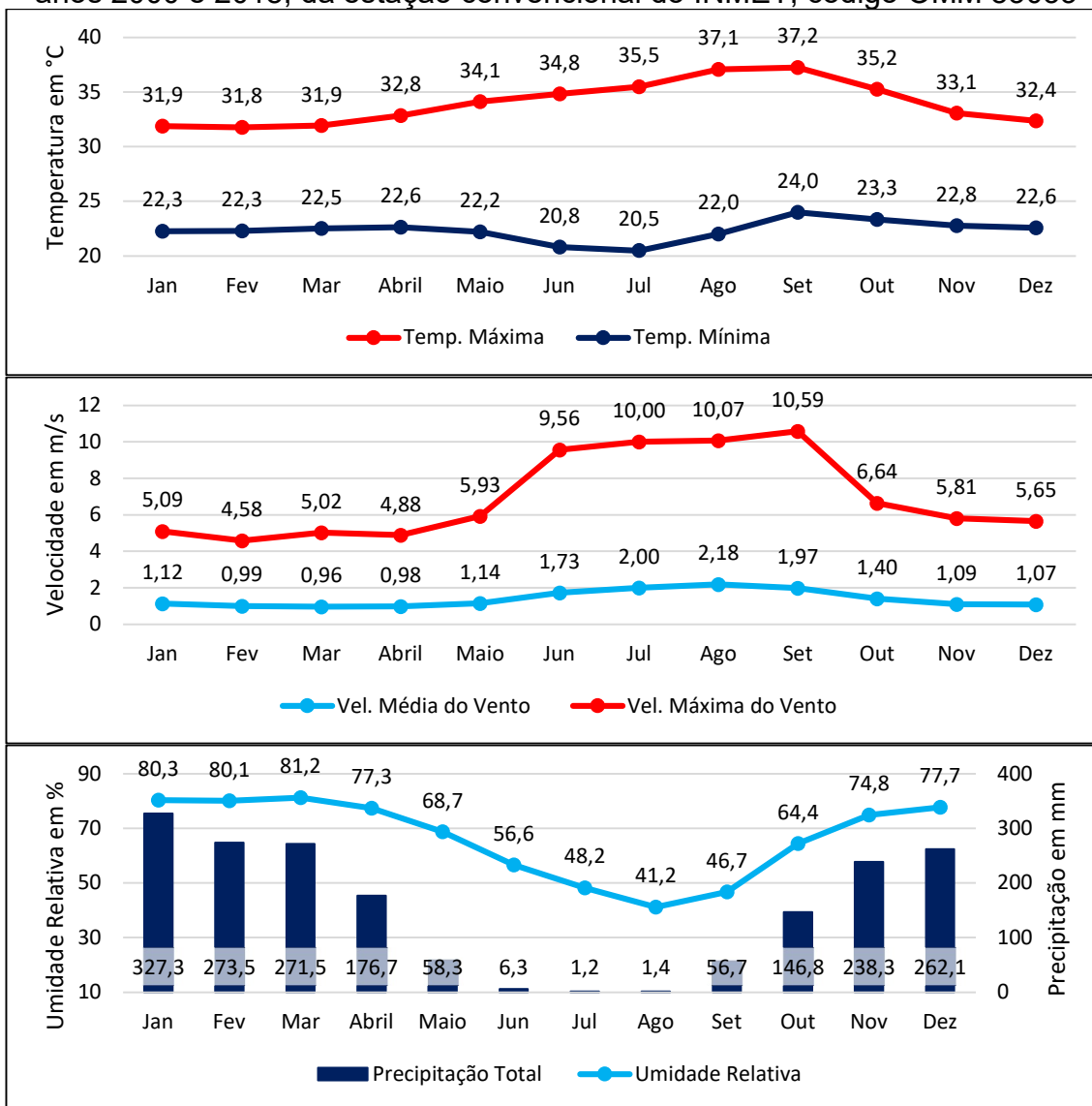
No ano de 2013, A amplitude térmica teve seu valor reduzido para 19,9°C no período mais seco do ano, devido ao aumento das temperaturas mínimas, provavelmente por um aumento da urbanização de Palmas. A umidade relativa teve o percentual de mais baixo analisado de 19%. A direção predominante dos ventos se manteve como leste, entretanto sua velocidade não superou 9,2 m/s. (SILVA; SOUZA, 2018).

Em seu estudo com dados climáticos obtidos entre os anos 2000 e 2013, Lima, Barbosa e Silva (2014) reafirmaram a presença de duas estações distintas, sendo uma estação quente e úmida, durante os meses de outubro a abril, e outra quente e seca que ocorre nos meses de julho a setembro. Segundo os autores, as médias mensais apresentam valores máximos de temperatura de 37,0°C, enquanto as mínimas atingem 20,4°C, já a umidade relativa média pode variar de 41,4% até 81,6% durante o ano, e a velocidade média do vento de até 2,3m/s.

Complementando tais estudos com dados das médias mensais dos anos 2000 a 2018 da estação climatológica convencional do INMET (Figura 12),

contatou-se a mesma tendência: uma estação seca, de maio a setembro, e uma estação chuvosa, de outubro a abril.

Figura 12 – Médias Mensais de dados climáticos da cidade de Palmas entre os anos 2000 e 2018, da estação convencional do INMET, código OMM 83033



Fonte: Dados do INMET (2019), organizado pelo autor (2020).

A estação quente e seca apresenta as maiores temperaturas máximas, chegando a 37,2°C (em setembro), e as menores mínimas, com 20,5°C (em julho), maiores velocidades do vento, com médias de até 2,18m/s (em agosto) e máximas de 10,59m/s (em setembro), umidade relativa média muito baixa, com médias que ficam abaixo de 50%, e precipitação quase nula. A estação quente e chuvosa apresenta menores amplitudes térmicas, mais baixas velocidades do vento, porém, com as maiores umidades relativas, em torno de 80%, e as maiores precipitações, chegando a 327,3mm. Importante frisar que a

temperatura mínima está mais elevada quando inseridos os dados mais recentes, o que corrobora com os autores quanto ao possível efeito da urbanização, que pode ter contribuído com a elevação da sua temperatura máxima e mínima, e redução das velocidades médias do vento.

Santos (2020) em sua dissertação de mestrado sobre arquitetura e clima local, também constatou a existência de dois períodos climáticos. O autor, com base no percurso do sol na abóbada celeste, juntamente aos dados de nebulosidade, precipitação e umidade, verificou que o período quente e seco, quando o sol está mais inclinado ao norte, é também o período com as maiores médias de temperaturas, menor nebulosidade, maior tempo de insolação e maior movimentação do ar; enquanto nos meses chuvosos e úmidos, quando o sol faz seu percurso com inclinação ao sul, os ventos são mais moderados, o volume de nuvens no céu é maior, tendendo a um menor tempo de insolação e menores médias de temperaturas durante o verão, ainda que episódios de veranicos possam alterar o tipo de tempo habitual.

3.3 ARQUIVOS CLIMÁTICOS

Além da modelagem da edificação avaliada, o aplicativo *EnergyPlus* necessita de outro arquivo para simulação do desempenho térmico, o arquivo climático. Os arquivos climáticos consistem em base de dados meteorológicos de um local específico ao decorrer do tempo, sendo 10 anos o tempo mínimo de coleta de dados. Existem diversos tipos de arquivos climáticos, contudo no Brasil são utilizados os arquivos *Test Reference Year* (TRY), do *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

- TRY: “Representam um ano de dados médios para um local específico, sem extremos de temperatura” (SCHELLER *et al*, 2015). O tempo mínimo de coleta de dados para esse arquivo é de 10 anos, com medições horárias. A escolha do ano representativo se dá pela análise do período coletado a partir de médias mensais e da exclusão dos anos com meses que apresentam as médias mensais mais extremas.
- SWERA: Projeto que visa fornecer dados de recursos energéticos renováveis estabeleceu parceria com o Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais, na qual foram disponibilizados arquivos climáticos de cidades brasileiras na extensão TMY (*Typical Meteorological Year*). Posteriormente foram convertidos para a extensão *EnergyPlus Weather Data*, para uso no aplicativo de simulação (SCHELLER *et al*, 2015). Os arquivos TMY possuem período de coleta mínimo de 30 anos.

- INMET: Arquivos climáticos elaborados a partir de dados coletados pelas estações meteorológicas do INMET. Durante a coleta de dados percebe-se lacunas e interrupções de dados, os quais foram preenchidos e substituídos. Após serem tratados, os arquivos também foram convertidos para a extensão .epw (SCHELLER *et al*, 2015).

Como a cidade de Palmas é nova e possui dados climáticos relativamente recentes, se tem disponível apenas os arquivos do INMET e o arquivo TRY desenvolvido por Ferraz e Dominiqui (2019) em seu estudo para elaborar uma carta bioclimática da cidade. Este arquivo na extensão .try não é adequado para inserção no *EnergyPlus*, pois possui dados apenas de temperatura e umidade. Sendo assim, foi aplicado como entrada para a simulação gerada no *EnergyPlus* o arquivo disponibilizado pelo INMET na extensão .epw. O arquivo em questão foi elaborado a partir dos dados climáticos dos anos de 2001 a 2010, já o mês de setembro especificamente é referente ao ano de 2009. Durante a pesquisa, procurou-se arquivos climáticos mais recentes, contudo o único obtido apresentou inconsistência de informações ao ser comparado com o banco de dados do INMET, fazendo com que fosse desconsiderado para o estudo.

3.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Para fazer a modelagem e simulação, são necessárias diversas ferramentas específicas nos *softwares*. Para não ficar extenso, e não parecer um manual de uso, são descritas aqui as principais ferramentas, no sentido de elucidar os passos realizados na simulação. Para não haver dúvidas quanto aos termos utilizado, esclarece-se que “modelagem” é o desenho específico do edifício em três dimensões e “simulação” é o processo que calcula as variáveis solicitadas, a partir dos parâmetros indicados, e produz um arquivo de saída para

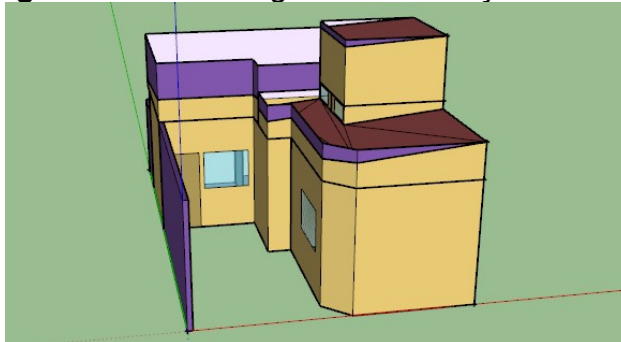
visualização dos resultados obtidos. Para dar início à simulação, a modelagem do edifício foi realizada no *SketchUp*, a partir do *plug-in OpenStudio* já instalado. Importante salientar que foi utilizada a versão 2017 do *SketchUp*, pois as versões mais recentes apresentam algumas incompatibilidades com o *plug-in* utilizado.

A interface do *software* de simulação é determinada por espaços, que representam os ambientes da edificação. A cada espaço pode ser atribuída uma Zona Térmica, necessária para visualização da simulação do espaço em que está inserida. Ademais, o programa conta com superfícies para delimitar esses espaços, as paredes do projeto, e essas superfícies podem abrigar subsuperfícies, portas e janelas. Além das superfícies comuns, tem-se as superfícies de sombreamento utilizadas para representar objetos que interfiram na incidência da luz solar sobre a edificação.

Foram desenhados os limites dos ambientes da edificação de forma isolada, sendo desenhado linhas sob a face externa das paredes externas e linhas centrais em paredes que dividiam os ambientes. Já com as delimitações prontas, utilizou-se a ferramenta “Criar espaços” a partir da barra de ferramentas do *OpenStudio*. A parede localizada dentro de um ambiente foi criada com a ferramenta “Novo grupo de superfícies de partições internas”. Ao criar os espaços, as paredes assumem coloração amarela e lajes ou telhados assumem coloração marrom.

As portas e janelas foram desenhadas após selecionar a superfície que a abriga. Após serem concluídas, as janelas adquiriram uma cor azul transparente para e as portas marrom claro. Repetiu-se o procedimento de criação de ambientes superiores constituídos pelas platibandas e as águas do telhado, considerando sua inclinação. Os prolongamentos das platibandas e muros foram criados com a ferramenta “Novo grupo de superfície de sombreamento”, como observado na Figura 13 e são representadas pela cor roxa.

Figura 13 – Modelagem da edificação isolada.



Fonte: Autoria própria (2020).

Em seguida foi utilizada a ferramenta “Corresponder superfícies” e a opção “Corresponder todo o modelo” para associar os ambientes, permitindo que sejam analisadas suas trocas térmicas. Para finalizar a etapa, utiliza-se o *SketchUp* diretamente, aplicando-se a ferramenta “Definir atributos” para os ambientes selecionados, onde são inseridos o tipo de ambiente, o conjunto da construção que o ambiente está inserido e para os ambientes analisados também são inseridos novas zonas térmicas e seus termostatos, ferramentas que fornecem informações de controle da temperatura do ar.

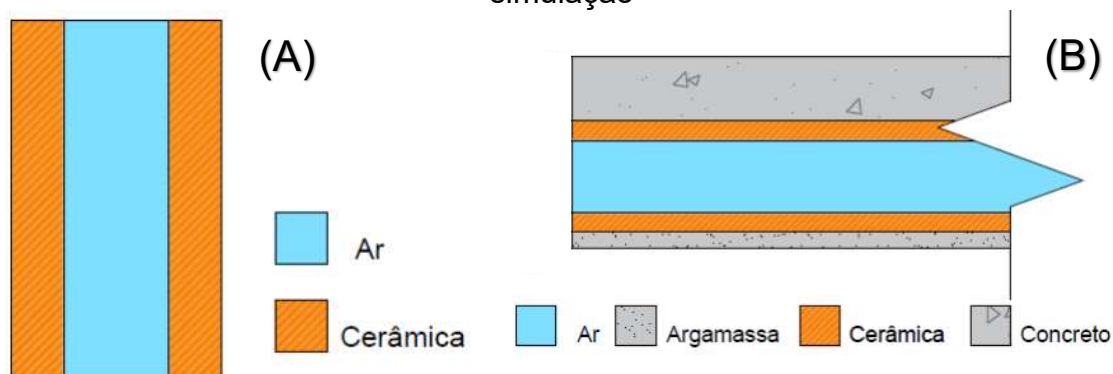
No passo de definição de ambientes, os mesmos são acompanhados de zonas bioclimáticas. O software apresenta zonas climáticas definidas para os Estados Unidos, o que já foi uma dificuldade preliminar para aplicar à realidade do Brasil. Fica a critério do usuário estudar qual destas zonas se assemelha à zona bioclimática da região em que se encontra a edificação. Para este trabalho, optou-se pela Zona 2, por abranger uma região mais quente dos Estados Unidos e menos úmida do que a Zona 1, sendo a que mais se assemelha com a região estudada dentre as disponíveis. Ademais, é tido como boa prática salvar com novo nome o arquivo da simulação sempre que realizar avanços significativos, pois em caso de erros ou travamentos tem-se uma versão anterior salva para dar continuidade ao trabalho.

Tendo as etapas anteriores concluídas e salvas, abriu-se o *OpenStudio* clicando no botão correspondente na barra e ferramentas. Na guia “Local” já aberta ao iniciar o aplicativo, inseriu-se o arquivo climático “.epw” e o arquivo “.ddy” que o acompanha. Na guia de “Planejamento” foram editadas as atividades que envolviam pessoas ou equipamentos, para que assim a simulação

se adequasse ao exigido na ABNT NBR 15575 (2013), a qual exige a ausência dessas atividades na zona térmica.

Na guia “Construções” foram criados os materiais que constituem a edificação, inserindo sua rugosidade, espessura e características térmicas encontradas na ABNT NBR 15220 para a argamassa, concreto e compensado. Já para os blocos de vedação e lajotas, por não se tratarem de materiais maciços, teve-se que recorrer a utilização de modelos equivalentes presentes na biblioteca de componentes construtivos brasileiro elaborada por Weber *et al.* (2017). Na referida biblioteca, encontraram-se informações para paredes construídas com blocos de seis furos e com dimensões de 9x14x24 cm e laje com lajota com dimensões de 24x7x20 cm. A representação de ambos pode ser observada na Figura 14.

Figura 14 – Representação de paredes (A) e laje com lajota (B), utilizadas na simulação



Fonte: Weber *et al.* (2017, p. 12 e 26).

Apesar de não se tratar exatamente dos mesmos materiais da construção estudada, apresentam características bem próximas e por carência de outra fonte foram utilizadas suas informações. Os dados inseridos no programa estão dispostos na Tabela 1, valendo ressaltar que os valores de absorvância para a argamassa são referentes à cor amarela claro obtidos por Dornelles, Caram e Sichieri (2013), sendo o mais próximo encontrado da cor bege, predominante na edificação.

Na guia “Espaços” e na opção “Superfícies” foram atribuídas às superfícies os materiais criados e, além disso, foi observado a exposição ao sol e ao vento das mesmas. Em “Subsuperfície”, foi verificada a tipologia de portas

e janelas e definidos os novos materiais para as mesmas. Em “Partições internas”, também se atribuiu o novo material para a parede interna da residência.

Dando prosseguimento, na guia “Variáveis de saída” foram selecionadas a “Temperatura do ar da zona” e “Temperatura de bulbo seco exterior a zona”. Já em “Configurações da simulação”, definiu-se doze intervalos por hora, para que correspondesse ao mesmo intervalo utilizado por Aguiar (2020). Para finalizar a simulação, clicou-se no botão para iniciar a tarefa e por fim abriu-se o visualizador *D-View* presente no *OpenStudio* para ter acesso aos dados detalhados da simulação.

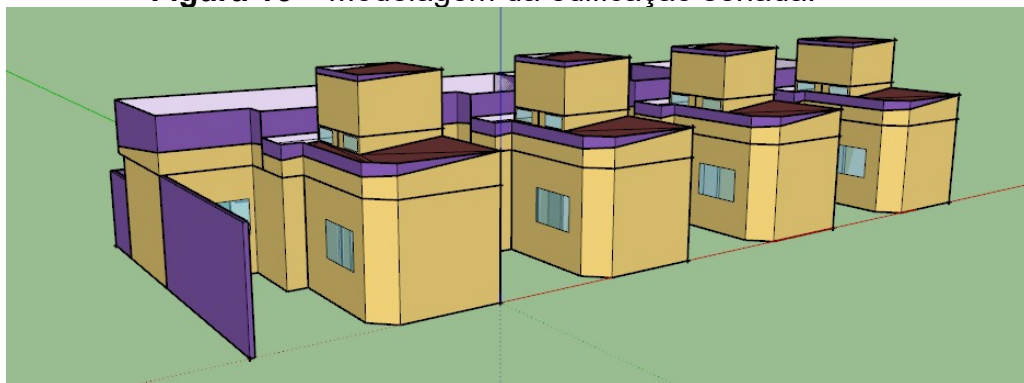
Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais inseridas no *software*.

Materiais		Espessura (cm)	Condutividade (W/(m*K))	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/(Kg*K))	Absortância térmica	Absortância solar	Absortância visível	Resistência térmica (m ² *K/W)
Parede	Argamassa	1,50	1,15	2000	1000	0,9	0,365	0,367	-
	Cerâmica bloco	1,34	0,90	1600	920	0,9	0,720	0,720	-
	Ar bloco	-	-	-	-	-	-	-	0,160
	Cerâmica bloco	1,34	0,90	1600	920	0,9	0,720	0,720	-
	Argamassa	1,50	1,15	2000	1000	0,9	0,365	0,367	-
Laje	Concreto laje	5,00	1,75	2400	1000	0,9	0,720	0,720	-
	Cerâmica lajota	1,20	1,05	2000	920	0,9	0,720	0,720	-
	Ar lajota	-	-	-	-	-	-	-	0,081
	Cerâmica lajota	1,20	1,05	2000	920	0,9	0,720	0,720	-
	Argamassa	1,50	1,15	2000	1000	0,9	0,365	0,367	-
Piso	Concreto piso	10,00	1,75	2400	1000	0,9	0,720	0,720	-
Porta	Compensado	3,50	0,12	450	2300	0,9	0,500	0,500	-
Telha	Fibrocimento	0,60	0,65	1600	840	0,9	0,705	0,705	-

Fonte: Autoria própria (2020).

Já concluída a simulação da edificação isolada, após a correção de erros e a verificação dos avisos emitidos pelo aplicativo, deu-se início a serialização da mesma, posicionando uma edificação a oeste e duas a leste. Para tanto ocorreu todo o processo de edição dos ambientes e zonas térmicas além da adequação das características das superfícies pelo *OpenStudio*. O resultado da serialização na modelagem pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Modelagem da edificação seriada.

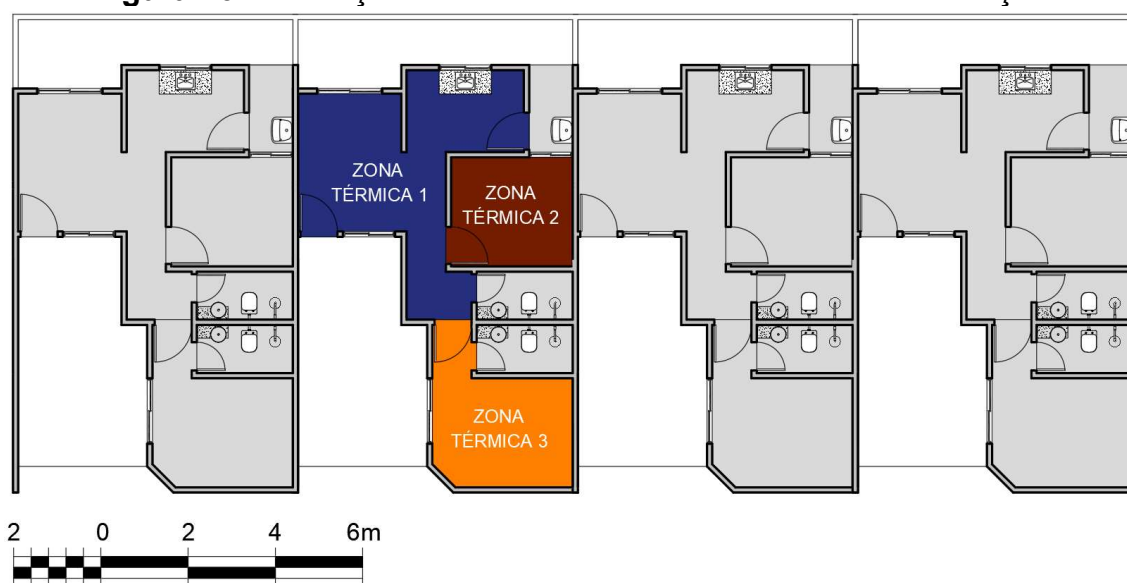


Fonte: Autoria própria (2020).

4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

As zonas térmicas criadas durante a modelagem podem ser vistas na Figura 16, diferindo dos locais medidos por Aguiar (2020) apenas na Zona 1, em que são consideradas a área de circulação e a cozinha, além da sala. Além disso, pode-se observar na figura que as áreas representadas em cinza claro são áreas cobertas (interior da edificação), e as áreas em branco são áreas descobertas (garagem e playground privativo). Sendo uma edificação seriada, as Zonas Térmicas 1 e 2 possuem paredes sem exposição solar direta.

Figura 16 – Definição das Zonas térmicas em estudo na edificação.



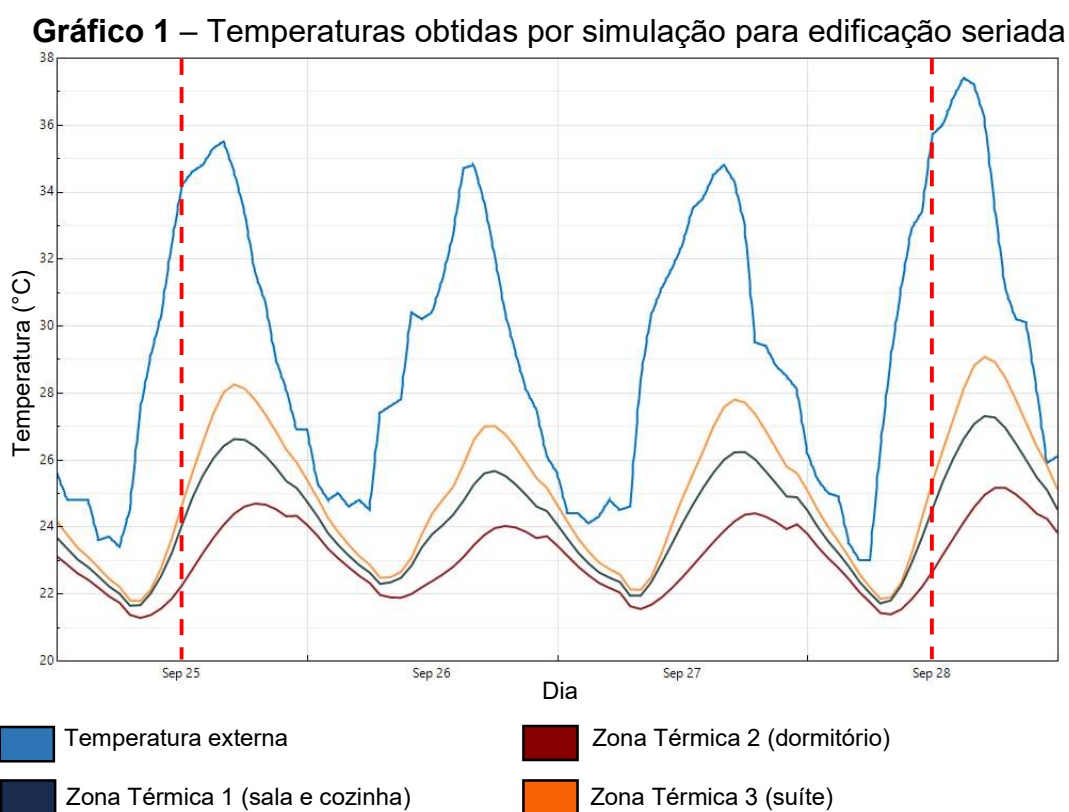
Fonte: Autoria própria (2020).

O período abordado por Aguiar (2020) tem início nas doze horas do dia 25 de setembro de 2019 e fim nas doze horas do dia 28 de setembro de 2019, totalizando três dias consecutivos necessários para o método de medição *in loco* descrito na ABNT NBR 15575 (2013). No caso da simulação, o aplicativo permite apenas a seleção de dias completos, sendo selecionados os dias 25 a 28 de setembro com o objetivo de trabalhar com situações idênticas à Aguiar (2020). Os dados contidos no arquivo climático para o mês de setembro são referentes ao ano de 2009, como já foi mencionado. Os resultados da simulação são mostrados por meios de gráficos e discutidos nos próximos tópicos.

4.1 EDIFICAÇÃO SERIADA

A partir da análise do mesmo intervalo de dias, tanto para o trabalho em questão como para o realizado por Aguiar (2020), puderam ser observadas as variações das temperaturas internas e externas à edificação. No Gráfico 1, o intervalo é delimitado pela linha vermelha tracejada.

As temperaturas máximas obtidas por simulação para o período considerado se encontram no dia 25, e as mínimas no dia 28. A temperatura externa variou de 23,0°C até aproximadamente 35,5°C. Para a Zona Térmica 1 (sala e cozinha), a temperatura máxima foi em torno de 24,7°C, enquanto a mínima ficou em 21,4°C. Já para a Zona Térmica 2 (quarto), a temperatura variou entre 21,8°C à 26,6°C. Na Zona térmica 3 (suíte), a temperatura máxima foi de 28,2°C, enquanto a mínima ficou em 21,9°C.



Fonte: Autoria própria (2020).

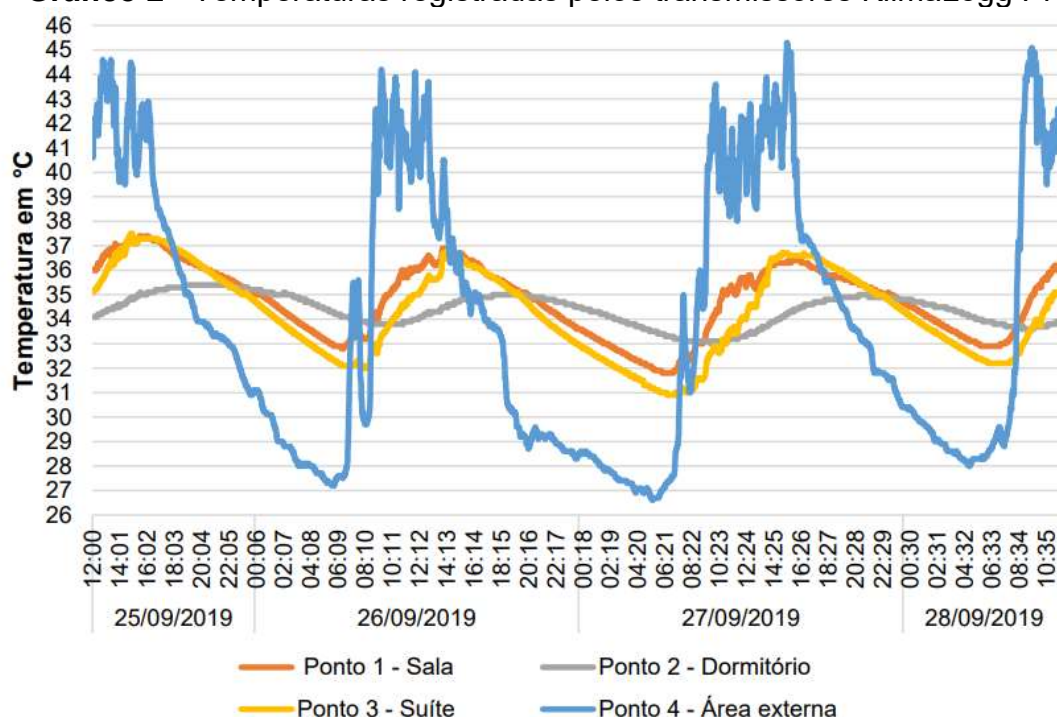
Apesar de mostrar um atraso térmico, as temperaturas internas não foram superiores às externas em nenhum momento do período avaliado. Em todos os dias, pode-se observar o comportamento dos ambientes considerados, onde o dormitório, representado pela Zona Térmica 2, demonstra melhor

desempenho, já na suíte, representado pela Zona Térmica 3, são apresentadas as maiores temperaturas internas.

As temperaturas tomadas por Aguiar (2020) a partir da Estação KlimaLogg Pro utilizada em seu trabalho geraram o Gráfico 2. As temperaturas externas máxima e mínima foram encontradas no dia 27, com mínima de 26,6°C e máxima de 45,3°C. Para os ambientes internos, as maiores temperaturas foram registradas no dia 25, enquanto as menores no dia 27. No quarto, observaram-se temperaturas que variavam entre 33,1°C e 35,4 °C. Na sala, o intervalo de temperaturas foi de 31,8°C a 37,4°C. Já para a suíte, de 30,9°C até 37,5°C.

O atraso térmico mostrou-se maior nas temperaturas obtidas no estudo *in loco*, principalmente ao considerar o quarto, onde a inércia térmica causada pela baixa exposição do ambiente aos agentes externos é bem marcante no gráfico. Ademais, observa-se que as temperaturas internas estão dentro do intervalo da temperatura externa, não apresentando picos superiores ou inferiores em nenhum dos dias.

Gráfico 2 - Temperaturas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro.



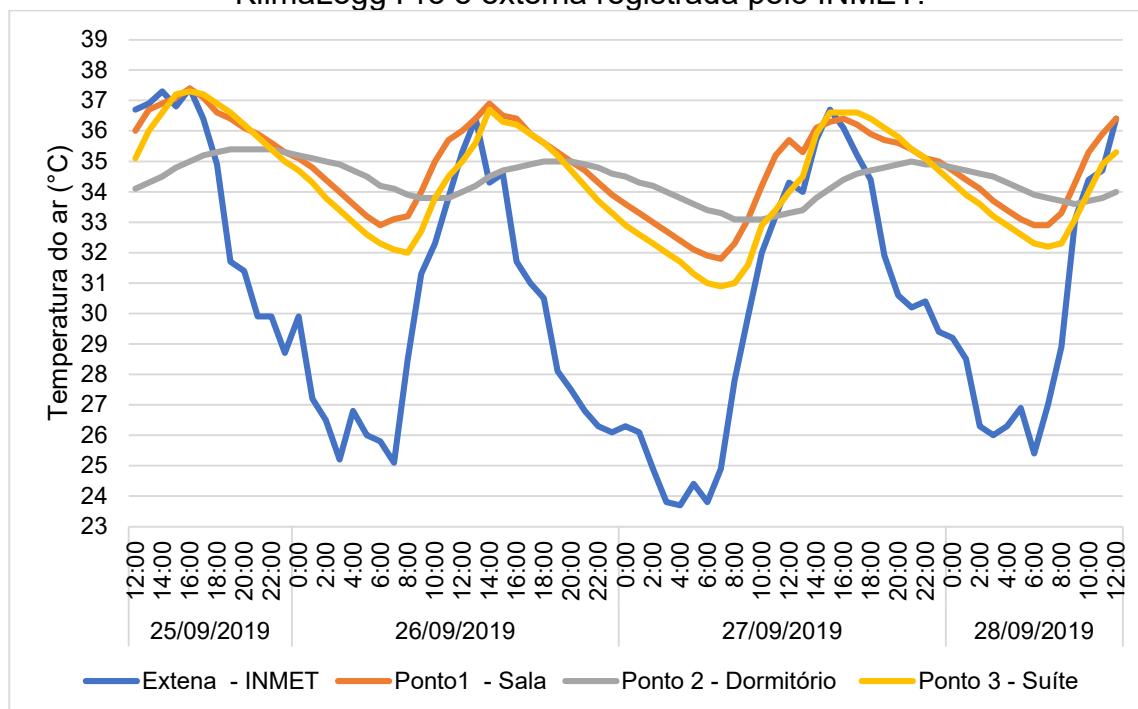
Fonte: Aguiar (2020, p. 50).

Em ambos os gráficos, observa-se o comportamento das temperaturas, que começam a aumentar no período matutino e atingem seu ápice na metade do período vespertino, aproximadamente, e em seguida tendem

a cair. Em relação aos ambientes, é possível ver a semelhança presente nos dois gráficos, onde a suíte apresenta as maiores temperaturas e o quarto as mais amenas. As curvas que representam o dormitório são mais suaves e sem a presença de picos tão acentuados como as demais regiões da edificação. A maior diferença, contudo, se dá no fato de que a temperatura obtida a partir da simulação é bem inferior à real. Na simulação, as temperaturas estão sempre abaixo da externa, enquanto na medição *in loco* as temperaturas internas apresentam valores intermediários aos externos.

Aguiar (2020) abordou em seu trabalho a possível interferência das paredes próximas aos dados coletados pelo transmissor responsável pela coleta de temperatura externa. Ao realizar uma pequena alteração, trocando as temperaturas externas pelas registradas pelo INMET (2019), pôde-se chegar no Gráfico 3. Nele, as temperaturas externas são bem mais baixas, ficando na maior parte do tempo entre 24°C e 37°C, e chegando a ser superadas pelas internas da sala e da suíte no dia 26. Também é visível que as temperaturas internas continuam elevadas, enquanto as mínimas externas se distanciam de maneira significativa durante o período noturno.

Gráfico 3 – Temperaturas internas registradas pelos transmissores KlimaLogg Pro e externa registrada pelo INMET.

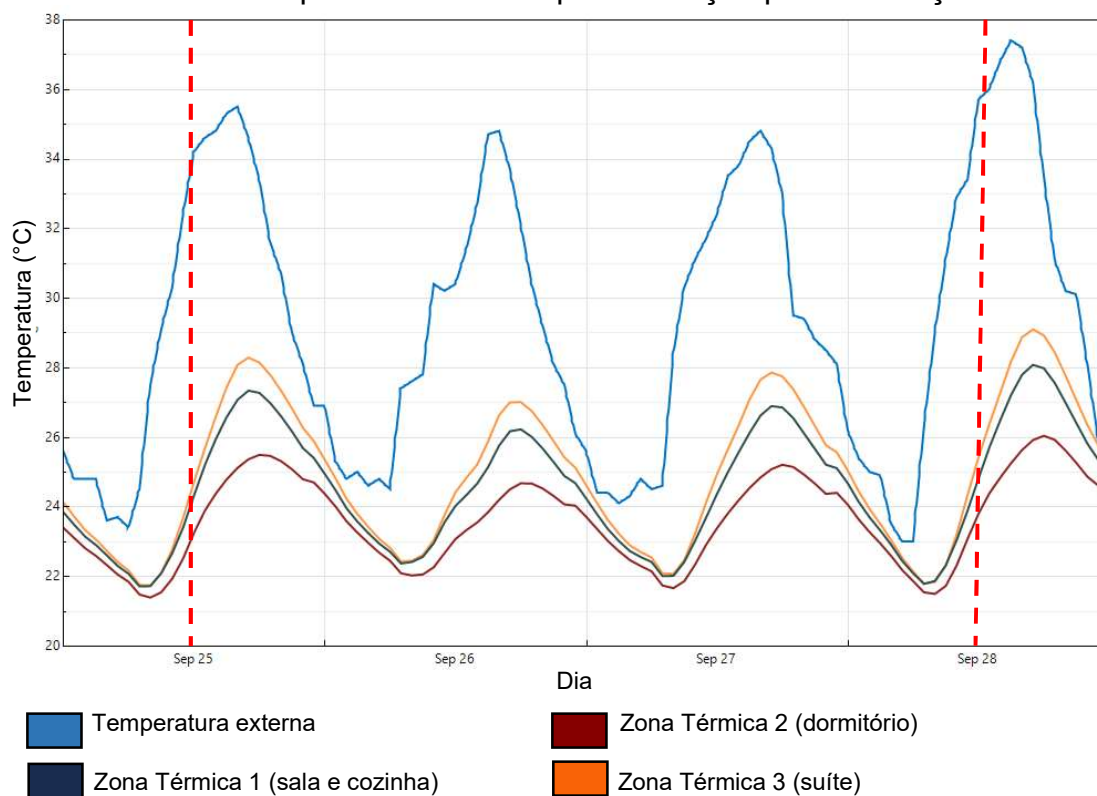


Fonte: Dados de Aguiar (2020) e INMET (2019), organizado pelo autor (2020).

4.2 EDIFICAÇÃO ISOLADA

A simulação da edificação isolada possui grande parte das características da simulação da edificação seriada, divergindo apenas na exposição ao sol e ao vento das superfícies laterais, as quais não eram expostas na situação anterior. Pode-se observar na Figura 16, que a Zona Térmica 3 – suíte, não sofre alterações quanto à insolação, enquanto as Zonas Térmicas 1 e 2, ao serem consideradas isoladas, passam a ter exposição solar direta. O Gráfico 4 apresenta o resultado da simulação, que tem como objetivo ver as implicações que essa alteração causaria no desempenho térmico da edificação.

Gráfico 4 – Temperaturas obtidas por simulação para edificação isolada



Fonte: Autoria própria (2020).

Para a suíte, as diferenças no desempenho térmico, se comparado à edificação seriada, são imperceptíveis. Já ao observar as curvas que representam as Zonas Térmicas 1 e 2, é perceptível a acentuação das mesmas nos picos de temperatura que se elevam em média $0,6^{\circ}\text{C}$ e $0,77^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Também é possível verificar a leve aproximação dessas curvas

em relação à que representa a suíte, o que demonstra um pequeno aumento das temperaturas mínimas.

Tal fato reforça o que foi afirmado por Aguiar (2020) em relação à melhoria do desempenho térmico para ambientes com menor exposição aos fatores externos, já que as Zonas Térmicas 1 e 2 foram as mais afetadas com a alteração realizada.

4.3 VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE DESEMPENHO

A ABNT NBR 15.575 (2013) dispõe em sua primeira parte os três níveis de desempenho térmico possíveis de se obter em uma análise da edificação. Mais especificamente em seu Anexo E, são descritos os critérios para atingir o nível Intermediário e Superior, além do Mínimo.

Para a Zona Bioclimática 7, onde o objeto de estudo se encontra, basta avaliar o desempenho térmico para condições de verão, descartando a verificação em condições de inverno. Para se enquadrar nas condições mínimas exigidas pela norma, a temperatura máxima interna deve ser menor ou igual à temperatura máxima externa. Caso a temperatura máxima interna seja menor ou igual em dois graus Celsius à temperatura máxima externa, a edificação se enquadra no nível intermediário, e por fim, caso a diferença seja de quatro graus Celsius, a edificação é adequada ao nível superior de desempenho térmico.

Ao verificar a diferença das temperaturas máximas externas e internas para os três dias avaliados, tanto para o método da simulação como pela medição *in loco* com a estação KlimaLogg Pro realizada por Aguiar (2020), observou-se o atendimento ao nível superior de desempenho. As diferenças médias encontradas entre as temperaturas máximas foram de 7,7°C para a simulação e 7,9°C para a medição *in loco*.

Considerando as temperaturas externas obtidas pelo INMET em comparação às internas registradas pelos transmissores da estação KlimaLogg Pro, a classificação do desempenho térmico reduz drasticamente. Considerando a metodologia prescrita em norma, a residência atende ao requisito mínimo no terceiro dia avaliado, contudo é possível observar que do dia 26 as temperaturas de dois ambientes internos superam as temperaturas externas, o que põe em questão o real atendimento do requisito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do desempenho térmico da edificação seriada em questão permitiu a verificação da adequação da mesma aos parâmetros presentes na ABNT NBR 15.575 (2013). Tanto para a edificação em sua condição real, a seriada, quanto para a situação isolada atenderam ao critério de nível superior presente na norma.

Tratando-se das divergências de comportamento entre a edificação isolada e seriada presente nos resultados obtidos por simulação, destaca-se o desempenho térmico superior das Zonas Térmicas 1 e 2, quando situadas na edificação seriada. Nesta situação, as curvas que representam as temperaturas ao longo dos dias são mais suaves, revelando uma maior inércia térmica do ambiente.

Vale reforçar o melhor desempenho térmico encontrado em ambientes com menor exposição aos fatores externos. Fator confirmado ao isolar a edificação, aumentando a área de exposição das Zonas Térmicas 1 e 2 e, consequentemente, elevando as temperaturas internas obtidas.

Já em relação à edificação real e simulada, a diferença mais visível se dá pelo fato de as temperaturas internas sempre estarem abaixo da externa nos gráficos gerados a partir da simulação, enquanto em condições reais, as temperaturas internas se apresentam entre os extremos externos para os dados coletados por Aguiar (2020) e na faixa superior de temperaturas, considerando os dados do INMET. Esse resultado pode ter sido causado pela imprecisão do arquivo climático, pela falta de características térmicas fiéis aos materiais utilizados na obra e pela falta de divulgação da correta utilização do aplicativo, pontos discutidos a seguir.

Ao decorrer da elaboração da simulação foram encontradas limitações e dificuldades para sua conclusão. A primeira delas deu-se na obtenção dos arquivos climáticos necessários para execução da simulação. Ao observar o primeiro arquivo climático, que foi tido como prioridade por considerar anos mais recentes em sua elaboração, 2007 a 2018 mais especificamente, percebeu-se sua clara inconsistência, apresentando informações incompatíveis com a base de dados do próprio INMET. Em seguida optou-se por um arquivo mais antigo, porém com dados consistentes, que permaneceu na simulação. Contudo, até

mesmo tal arquivo é criticado por pesquisadores. Scheller *et al.* (2015) afirma que os arquivos climáticos das diversas cidades brasileiras avaliados em seu trabalho são imprecisos e de baixa qualidade dentre eles, estão arquivos elaborados a partir de dados do INMET.

Ainda como dificuldade, teve-se a falta de divulgação da correta utilização do aplicativo de simulação. Informações gratuitas sobre o *software* são escassas, a maioria das apostilas que abordam os temas estão desatualizadas, referentes às primeiras versões do aplicativo, e, quando encontradas fontes mais recentes, são incompletas, restando ao pesquisador interessado interligar as informações encontradas e aprender sobre o programa explorando-o.

Por fim, em relação às limitações, a gama de materiais com características divulgadas ainda que crescente nos últimos anos, como encontrada na biblioteca de materiais utilizadas no presente trabalho, ainda não engloba a diversidade de componentes utilizados na construção civil brasileira. Sendo assim, fica a critério do pesquisador encontrar materiais semelhantes ao desejado, implicando na precisão da simulação.

A simulação computacional do desempenho térmico é uma ferramenta reconhecida e recomendada pela ABNT NBR 15.575 (2013) que permite a melhoria da qualidade e conforto da edificação ainda em fase de projeto. Contudo, sua aplicação é pouco vista em ambiente profissional, justificado pelas limitações já citadas. Tem-se como sugestões para trabalhos futuros, a elaboração de arquivos climáticos e bibliotecas de materiais que possibilitem simulações cada vez mais próximas à realidade, além da divulgação sobre a utilização da técnica, para que o método de avaliação faça parte do mercado da construção civil. Ademais, a realização de um trabalho comparando os resultados obtidos entre os softwares *DesignBuilder* e o *SketchUp* juntamente com o *OpenStudio* mostraria o quanto as diferenças no método de modelagem e informações contidas nas bibliotecas dos aplicativos impactariam na simulação.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **ABNT NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AGUIAR, Gabriel Vila Nova. **Desempenho térmico segundo a ABNT NBR 15.575 em uma edificação multifamiliar seriada no município de Palmas – TO**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2020.

ASBEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15.575**. 2015 (Publicado em 2 set. 2015).

BASSO, Thalyta Mayara; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; SILVA, Danieli Sanderson. Eficiência energética na construção civil no Brasil. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 48–56. 2015.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, [2001]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm. Acesso em: 15 out. 2020.

BRITO, Adriana Camargo de; AKUTSU, Maria; TRIBESS, Arlindo. Emprego do programa computacional *Energyplus* na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário. In: ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011b, Ouro Preto, MG. **Anais...**

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. (2010). Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 27–40, abr./jun. 2010.

DESIGNBUILDER SOFTWARE. **DesignBuilder**, 2020. Disponível em: <http://www.designbuilder.co.uk/download/software/release-software>. Acesso em: 20 mar. 2020.

DOE - US Department of Energy. **EnergyPlus**, 2019. Disponível em: <https://energyplus.net/downloads>. Acesso em: 20 mar. 2020.

DORNELLES, Kelen Almeida; CARAM, Rosana Maria; SICHIERI, Eduvaldo Paulo. Absortância solar e desempenho térmico de tintas frias para uso no envelope construtivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., set. 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2013. p. 55–64.

FERRAZ, Ana Maria Meneses; DOMINIQUE, Mariela Cristina Ayres de Oliveira. Construção de arquivo bioclimático para a cidade de Palmas – Tocantins. In: SEMINÁRIO INTEGRADO DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA – UFT, 11., out. 2019, Palmas. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2014. p. 186–198.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**: 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006.

GARCIA, Marina da Silva; SOUZA, Roberta. Reflexões preliminares sobre a utilização do BIM junto à simulação computacional para eficiência energética de edificações. In: Seminário de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação, 2, nov. 2017, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2017.

GOOGLE. **Google Maps**. 2020. Palmas, TO. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 10 out. 2020.

GRIGOLETTI, Giane de C.; SATTTLER, Miguel Aloysio. Estudo comparativo de temperaturas internas obtidas com simulações e medições *in loco* para um protótipo habitacional de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., nov. 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2003. p. 1083–1091.

HENSEN, Jan; LAMBERTS, Roberto. **Performance Simulation for Design and Operation**. Abingdon: Spon Press, 2011.

HENZE, Gregor; NEUMANN, Christian. Building simulation in building automation systems. In: HENSEN, Jan L.M.; LAMBERTS, Roberto (org.). **Performance Simulation for Design and Operation**. Abingdon: Spon Press, 2011. p. 402- 440.

HUNEMEIER, Aline Patrícia; SPEZIA, Amanda Martini. Desempenho térmico e eficiência energética: Estudo de caso. **Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v. 9, n. 4, p. 320–332. 2017.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações automáticas**. 2019. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 09 out. 2020.

LAMBERTS, Roberto. A nova NBR 15575: Desempenho Térmico. In: **Ciclo de palestras PROGRAU**. 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/prograu/prograu-online/>. Acesso em: 20 out. 2020.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. v. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; ABREU, Ana Lígia Papst de; CARLO, Joyce; BATISTA, Juliana Oliveira; MARINOSKI, Deivis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência energética na arquitetura**: 3 ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; RAMOS, Greici. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2006.

LIMA, Mariana Brito de; BARBOSA, Djean da Costa; SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Arquitetura bioclimática: recomendações para Palmas/TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 11., out. 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Brasileira de Climatologia, 2014. p. 186–198.

LIMA, Mariana Brito de. **Casas sustentáveis em um ambiente saudável: ecovila no semiárido nordestino com ênfase na bioclimatologia e sustentabilidade**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

LOPES, Felipe Oliveira; SILVA, Caio Frederico e. Building Performance Simulation in Brazil: A systematic review. In: IBPSA – International Conference and Exhibition, 16, set. 2019, Roma. **Anais...** Roma: IBPSA, 2019. p. 4010–4016.

OLGYAY, Victor. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1963.

OPENSTUDIO. **OpenStudio**. v. 2.9.1. 2017. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 20 mar. 2020.

RORIZ, Maurício. **Conforto e desempenho térmico de edificações**. São Carlos: UFSCAR, 2008.

SACHT, Helenice Maria. **Painéis de vedação de concreto moldados *in loco*: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E DESENVOLVIMENTO DE CONCRETOS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia da São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANTANA, Victor de Castro. **Simulação computacional de desempenho térmico**: Um estudo de caso na cidade de Palmas - TO. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

SANTOS, Flávia Maria de Moura. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT**: Estudo de caso. 2008. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SANTOS, Raphael de Sousa. **Arquitetura e clima local**: Relações entre orientação solar, tipos de tempo e conforto térmico em edifícios habitacionais na cidade de Palmas - TO. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

SCHELLER, Camila; MELO, Ana Paula; SORGATO, Márcio; LAMBERTS, Roberto. **Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2015.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da; SOUZA, Lucas Barbosa e. Ritmo climático e conforto térmico na cidade de Palmas (TO) em anos-padrão selecionados. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 34, p. 1–27, jan./jun. 2019.

SILVA, Itamar Xavier da. **Uma proposta de planejamento ambiental urbano para a sub-bacia do Córrego Machado em Palmas – TO**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gestão e Auditoria Ambiental) – Universidade de Las Palmas e Gran Canária, Florianópolis, 2004.

SORGATO, Márcio José; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luís; LAMBERTS, Roberto. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 2012.

TRIMBLE. **SketchUp**. v. 17.0.18899. 2017. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 20 mar. 2020.

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

WEBER, Fernando da Silva; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; GUTHS, Saulo; LAMBERTS, Roberto. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2017.