



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THIERRY FREIRE PEREIRA NEVES

**USO DO *SOFTWARE REVIT* COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DO
CONFORTO TÉRMICO APLICADO A EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR**

RUSSAS – CEARÁ

2022

THIERRY FREIRE PEREIRA NEVES

USO DO *SOFTWARE REVIT* COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DO CONFORTO
TÉRMICO APLICADO A EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará (UFC), *Campus* de Russas -
CE, como requisito parcial para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes
Teixeira Mesquita.

RUSSAS - CEARÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N428u Neves, Thierry Freire Pereira..
 Uso do software REVIT como ferramenta para análise do conforto térmico aplicado a edificação multifamiliar / Thierry Freire Pereira. Neves. – 2022.
 64 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2022.
 Orientação: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.
1. Building Information Modeling. 2. Desempenho térmico. 3. Inspeção técnica. 4. Simulação computacional. I. Título.

CDD 620

THIERRY FREIRE PEREIRA NEVES

USO DO *SOFTWARE REVIT* COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DO CONFORTO
TÉRMICO APLICADO A EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, *Campus* de Russas - CE, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 13/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Mylene de Melo Vieira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Maycon Handerson de Oliveira Bessa

Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB/UFC)

“A persistência é o caminho do êxito.”
(CHAPLIN, 1997, p. 118)

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por permitir a realização de mais uma etapa da vida, que é a graduação como Engenheiro Civil.

Aos meus pais, por me apoiarem em todas as etapas, sendo meus pilares para todas as situações de esforços e angústias, em especial, ao meu pai (*in memoriam*).

A minha noiva, que pode me acalmar em momentos de ansiedade e aflições, que me deu a certeza que esse momento chegaria.

Agradeço a todos os meus colegas de Faculdade, em especial àqueles com quem desenvolvi laços e com quem compartilhei momentos bons durante todo o curso.

A todos os professores da Graduação, obrigado por todos os aprendizados compartilhados. Em especial ao Professor Orientador Dr. Esequiel Mesquita, pela amizade, paciência e contribuições para a construção deste trabalho.

Ao Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB/UFC) por toda experiência proporcionada para o meu crescimento pessoal e profissional.

A todos, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

O presente estudo objetivou analisar e demonstrar o uso do *Software REVIT* como ferramenta para análise térmica de edificações multifamiliares. Adotando como referência para a coleta de dados e métodos de cálculo a NBR-15575: Edificações Habitacionais-Desempenho (2013) e a NBR-15220 (2003), este trabalho analisou uma edificação multifamiliar de interesse social, com 04 (quatro) blocos constituídos pelo térreo, e 03 (três) pavimentos tipo, onde cada bloco contém duas edificações por andar de aproximadamente 50,00 m² cada. No modelo computacional, foram considerados os parâmetros térmicos de cada elemento construtivo, o tipo de ocupação, as características climáticas e a trajetória solar da localização do Edifício situado no município de Limoeiro do Norte - Ceará. O desenvolvimento de estudos implementados nas edificações multifamiliares, bem como a avaliação da importância dos métodos de desempenho, comparando as técnicas desenvolvidas e o desempenho térmico da edificação em todos os níveis, podem auxiliar para a melhoria da qualidade térmica dos ambientes nas edificações. Nesse contexto, a tecnologia Building Information Modeling (BIM) se tornou uma ferramenta essencial para projetistas e profissionais da construção civil, sendo utilizada para modelagem e simulações de diversos tipos como, por exemplo, edificações multifamiliares. A partir da análise dos resultados verificou-se a importância da realização das simulações para análise comportamental do edifício e como estas podem influenciar no comportamento térmico de edificações multifamiliares. Destacamos ainda a obtenção de dados climáticos com base na localização do modelo, tendo como referência dados do software. A interpretação principal quanto a cargas solares e luminância para a análise térmica se impõem como o maior desafio do estudo, além das limitações do *Software Revit*. A partir do estudo realizado foi possível demonstrar a capacidade e limitações do programa, quanto a análise térmica, bem como a necessidade de ampliação dos resultados obtidos através de softwares complementares para uma avaliação completa do desempenho de edificações multifamiliares.

Palavras-chave: BIM; desempenho térmico; inspeção técnica; simulação computacional.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze and demonstrate the use of REVIT software as a tool for thermal analysis of multifamily buildings. Adopting as reference for data collection and calculation methods the NBR-15575: Residential Buildings - Performance (2013) and the NBR-15220 (2003), this work analyzed a social interest multi-family building, with 04 (four) blocks consisting of the first floor and 03 (three) type floors, where each block contains two buildings per floor of approximately 50.00 m² each. In the computational model, the thermal parameters of each building element, the type of occupation, the climatic characteristics and the solar trajectory of the building location, located in the city of Limoeiro do Norte - Ceará, were considered. The development of studies implemented in multi-family buildings, as well as the evaluation of the importance of performance methods, comparing the techniques developed and the thermal performance of the building at all levels, can help to improve the thermal quality of environments in buildings. In this context, Building Information Modeling (BIM) technology has become an essential tool for designers and construction professionals, being used for modeling and simulations of various types, such as multifamily buildings. From the analysis of the results we verified the importance of performing simulations for behavioral analysis of the building and how they can influence the thermal behavior of multifamily buildings. We also highlight the obtaining of climatic data based on the location of the model, with reference to the software data. The main interpretation regarding solar loads and luminance for the thermal analysis imposed itself as the biggest challenge of the study, besides the limitations of the Revit software. Based on this study, it was possible to demonstrate the program's capacity and limitations regarding thermal analysis, as well as the need to expand the results obtained through complementary software for a complete evaluation of the performance of multifamily buildings.

Keywords: BIM; Thermal Performance; Technical Inspection; Computer Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz da norma de desempenho.....	20
Figura 2 - Nível de Certificação LEED.....	27
Figura 3 - Etapas para Certificação LEED.	27
Figura 4 - Categorias avaliadas na Certificação LEED.	27
Figura 5 - Planta baixa da parte frontal da edificação proposta nas simulações.....	32
Figura 6 - Planta baixa da parte posterior da edificação proposta nas simulações.	33
Figura 7 - Modelo 3d da edificação estudada.....	33
Figura 8 - Planta baixa do bloco tipo utilizado para as simulações.	34
Figura 9 - Sistema de localização das estações meteorológicas mais próximas da edificação.	36
Figura 10 - Simulação do Caminho Solar (dia 23/04/2022 as 09:30h).	37
Figura 11 - Janela de configurações das propriedades térmicas dos materiais no Revit 2020.	38
Figura 12 - Processo para a simulação de Iluminância (LUX) – NBR 15575	40
Figura 13 - Processo para a simulação de Iluminância (LUX) – LEED V4.1	41
Figura 14 - Frequência de distribuição de bulbo seco em temperatura por porcentagem de tempo.	41
Figura 15 - Frequência de umidade relativa do ar anual, umidade por porcentagem de tempo.	42
Figura 16 - Rosa dos ventos - Distribuição de velocidade do vento (m/s).	43
Figura 17 - Velocidade (m/s) por porcentagem de tempo.....	43
Figura 18 - Distribuição do ponto de orvalho anual por porcentagem de tempo.....	44
Figura 19 - Temperatura média por mês.	44
Figura 20 - Consumo anual de energia elétrica no modelo:.....	45
Figura 21 - Comparação com os métodos ARCHITECTURE2030 e ASHRAE 90.1 em R\$/m ² /ano e Kw/m ² /ano respectivamente.....	46
Figura 22 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.	47
Figura 23 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1° pavimento.	47
Figura 24 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2° pavimento.	48
Figura 25 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3° pavimento.	48
Figura 26 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.	49
Figura 27 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1° pavimento.	49
Figura 28 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2° pavimento.	50
Figura 29 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3° pavimento.	50
Figura 30 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.	51
Figura 31 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1° pavimento.	51
Figura 32 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2° pavimento.	52

Figura 33 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3º pavimento.	52
Figura 34 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.	53
Figura 35 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1º pavimento.	53
Figura 36 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2º pavimento.	54
Figura 37 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3º pavimento.	54
Figura 38 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do pavimento térreo.	55
Figura 39 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 1º pavimento.	55
Figura 40 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 2º pavimento.	56
Figura 41 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 3º pavimento.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas.	20
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas.	21
Tabela 3 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.	21
Tabela 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica – M.	21
Tabela 5 - Dimensão das aberturas para ventilação.	24
Tabela 6 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.	24
Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.	25
Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.	25
Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8.	25
Tabela 10 - Dimensões das aberturas adotadas na modelagem.	34
Tabela 11 - Elementos construtivos da edificação.	35
Tabela 12 - Propriedades térmicas dos materiais.	35

LISTA DE ABREVIADURAS E SIGLAS

3D	<i>Três dimensões</i>
ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASBEA	<i>Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos</i>
AVAC	<i>Sistema de climatização</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
DOE	<i>U.S. Department of Energy, Estados Unidos</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency, Estados Unidos</i>
GBC BRASIL	<i>Green Building Council Brasil</i>
GBS	<i>Green Building Studio</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LUX	<i>Fluxo de lúmens</i>
NBR	<i>Norma Brasileira Regulamentar</i>
RVT	<i>Revit</i>
UFC	<i>Universidade Federal do Ceará</i>
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	<i>Área</i>
c	<i>Calor específico do material</i>
CT	<i>Capacidade térmica</i>
e	<i>Espessura da camada</i>
FS _o	<i>Fator solar de elementos opacos</i>
FS _t	<i>Fator solar de elementos translúcidos</i>
R	<i>Resistência térmica</i>
U	<i>Transmitância térmica</i>
α	<i>Absortância à radiação solar</i>
λ	<i>Condutividade térmica do material</i>
ρ	<i>Densidade de massa aparente</i>
Φ	<i>Atraso térmico</i>
R _{se}	<i>Resistência superficial externa</i>
R _{si}	<i>Resistência superficial interna</i>
τ	<i>Transmitância à radiação solar</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo geral	14
1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Eficiência energética	16
2.2	Conforto térmico	17
2.2.1	<i>ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais-desempenho</i>	18
2.2.2	<i>ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações</i>	22
2.2.3	<i>Certificação LEED</i>	26
2.3	Building Information Modeling – bim	28
2.3.1	<i>Conhecendo o(a) análise computacional</i>	28
3	METODOLOGIA	30
3.1	Edificação proposta	31
3.2	Cacterísticas da edificação	34
3.3	Configurações iniciais para simulação	36
3.4	Simulação	38
3.4.1	<i>Green Building Studio – GBS</i>	38
3.4.2	<i>Insight</i>	39
3.4.2.1	<i>Segundo a nbr-15575</i>	39
3.4.2.2	<i>Segundo a certificação LEED</i>	40
4	RESULTADOS E ANÁLISES	41
4.1	Análise Green Building Studio – GBS	41
4.2	Análise Insight	45
4.2.1	<i>Simulação de luminância dia 23 de abril (09:00h as 10:00h)</i>	46
4.2.2	<i>Simulação de luminância dia 23 de abril (15:00h as 16:00h)</i>	48
4.2.3	<i>Simulação de luminância dia 23 de outubro (09:00h as 10:00h)</i>	51
4.2.4	<i>Simulação de luminância dia 23 de outubro (15:00h as 16:00h)</i>	53
4.2.5	<i>Simulação de luminância com base na certificação LEED</i>	54
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O uso inconsciente da energia elétrica tem se intensificado ao longo dos anos proveniente de muitos fatores, sendo um deles a utilização para a climatização de ambientes (EPE, 2021). A utilização de climatizadores se faz necessária pelo fato de os locais de utilização dos usuários não apresentarem estrutura adequada para se autossustentar – o que somente é possível tendo como princípio a ventilação natural, condição para melhor conforto térmico. A ventilação natural reduz a presença de fungos, mofo e bactérias nos ambientes, que acarretam na redução de doenças respiratórias e umidade no interior das edificações, além de diminuir o impacto ambiental (LONGHI, 2017).

Em residências multifamiliares, onde um grande número de moradores possui baixo poder aquisitivo para compra de equipamentos de climatização, a ventilação natural garante a estes uma melhor condição de estadia. Logo, para qualquer atividade a ser desenvolvida, seja ela de lazer, descanso ou trabalho, ambientes confortáveis termicamente são benéficos. Além disso, os edifícios multifamiliares visam apenas a produção em larga escala, priorizando o maior número de unidades e desconsiderando princípios básicos como a ventilação natural, sendo o usuário, o grande prejudicado (SANTO, 2014).

Frente as intensas mudanças provocadas pela variação do clima em todos os Estados durante boa parte do ano, um fator que permanece em evidência é a insolação. Logo, a análise do desempenho térmico apresenta-se como a principal atividade para avaliar e dimensionar os materiais e técnicas a fim de atingir os objetivos climatológicos necessários a satisfação da necessidade de construção de um ambiente agradável, gerando menores temperaturas internas e promovendo a redução do uso de condicionamento artificial.

O desempenho térmico pode ser definido como um conjunto de fatores voltados para garantir ambientes agradáveis termicamente nas edificações em geral (LAMBERT *et al*, 2016). Ambientes agradáveis necessitam de diversos fatores além da temperatura, visto que estão ligados diretamente com a saúde dos usuários e como os mesmos reagem as condições as quais estão expostos. Logo, o desempenho térmico além de garantir ambientes agradáveis, termicamente, exerce a função de satisfazer e melhorar a qualidade de vida dos consumidores (NICO-RODRIGUES, ALVAREZ, SANTO, 2015). De forma geral, o desempenho térmico é o princípio básico para atrelar as necessidades do cliente com uma boa arquitetura.

Deste modo, a Norma de Desempenho – NBR 15575 (ABNT NBR 15575, 2013) designa exigências detalhadas quanto ao padrão na construção civil, e assim, estabelece requisitos mínimos a serem seguidos para garantir o desempenho das edificações.

Aplicar as técnicas já conhecidas na Arquitetura para todas as classes sociais, independente dos tipos de edificação, sejam elas unifamiliares ou multifamiliares, é de extrema importância para aumentar a qualidade e conforto dos usuários. O objetivo das estratégias adotadas visa alcançar o conforto térmico para usuário em sua habitação. Isso por que à medida que o mesmo passa a se acomodar com o ambiente, existe a possibilidade da não utilização de condicionamento artificial.

As questões antes apresentadas nos chamam a atenção, e nos motivam a pesquisar sobre como podemos reduzir as temperaturas internas dos ambientes multifamiliares. Cabe salientar que o interesse em pesquisar o tema surgiu a partir da realização de trabalhos propostos pelo LAREB, em parceria com a Prefeitura de Limoeiro do Norte-CE, orientada pelo Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita, durante o ano de 2020. A pesquisa tinha como objetivo a análise da arquitetura proposta pela prefeitura de Limoeiro do Norte, de uma habitação de interesse social, com o intuito de verificar as condições mínimas de desempenho e qualidade da edificação.

Como pergunta de pesquisa, destacamos: *Como a aplicação do Software Revit pode influenciar nas estratégias para reduzir a temperatura internas dos ambientes nas edificações multifamiliares?*

A pesquisa buscou, como objetivo geral, analisar e demonstrar como a aplicação do *Software REVIT* pode contribuir no desempenho térmico em residências multifamiliares. Com objetivos específicos, pretendemos: I) apresentar os métodos, materiais e técnicas já conhecidas para simulações térmicas; II) identificar a importância do desenvolvimento de estudos implementados nas edificações multifamiliares; III) desenvolver e modelar a edificação em BIM; IV) avaliar a importância dos métodos para os usuários.

Adotamos como referência para a coleta de dados e métodos de cálculo a NBR-15575: Edificações Habitacionais-Desempenho (2013) e a NBR-15220 (2003), este trabalho analisou uma edificação multifamiliar de interesse social, com 04 (quatro) blocos constituídos pelo térreo, e 03 (três) pavimentos tipo, onde cada bloco contém duas edificações por andar com área de aproximadamente 50,00 m² cada. No modelo computacional, foram considerados os parâmetros térmicos de cada elemento construtivo, o tipo de ocupação, as características

climáticas e a trajetória solar da localização do Edifício situado no município de Limoeiro do Norte - Ceará.

Esta pesquisa se justifica pela necessidade de garantir um desempenho térmico de qualidade em residências multifamiliares através da aplicação do uso dos recursos naturais e materiais empregados na construção.

Para um melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória, segundo Gerhardte e Silveira (2009), tem como objetivo a construção de hipóteses possibilitando maior domínio para determinado problema. A pesquisa adota ainda um caráter teórico-bibliográfico uma vez que faz uso de materiais já elaborados como livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos e enciclopédias na busca e alocação de conhecimento sobre o uso dos recursos naturais e materiais empregados na construção de edifícios multifamiliares como ferramenta para análise do conforto térmico. A pesquisa é caracterizada como estudo de caso, uma vez que adota como objeto a coleta de dados e informações sobre uma habitação multifamiliar.

O trabalho está organizado em 05 (cinco) seções, quais sejam: *Introdução*, onde apresentamos o tema, a contextualização da pesquisa, o problema da pesquisa, as hipóteses, a justificativa da pesquisa, os objetivos (geral e específicos) e a metodologia da pesquisa. O *Capítulo 1* é constituído pela revisão bibliográfica, onde apresentaremos a definição e métodos das normas NBR 15575 e NBR 15220, Certificação LEED, definições de eficiência energética e conforto térmico, além de conceitos de análise computacional. O *Capítulo 2*, dispõe sobre os materiais e métodos escolhidos para realização dos ensaios, descrevendo o processo de elaboração e ensaios do edifício analisado. No *Capítulo 3* apresentamos como se dispõe o edifício analisado, sua estrutura, materiais utilizados, e como procede-se a realização as simulações. No *Capítulo 4* apresentamos os resultados obtidos através das análises e ensaios a partir das simulações realizadas, e a verificação quanto aos requisitos mínimos de qualidade de acordo com a NBR-15575-Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais. Por fim, apresentamos as *Considerações Finais* e as contribuições deste estudo para a área de Engenharia Civil, além de recomendações e temas para a realização de trabalhos futuros.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar como a aplicação do uso do Software REVIT construção pode refletir ou contribuir desempenho térmico em residências multifamiliares, com a finalidade de comparar os ganhos com qualidade de vidas dos usuários.

1.2 Objetivos específicos

Para o atendimento do objetivo geral, devem ser alcançados os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar os métodos, materiais e técnicas já conhecidas para simulações térmicas.
- Identificar a importância do desenvolvimento de estudos implementados nas edificações multifamiliares.
- Desenvolver e modelar a edificação em BIM.
- Avaliar a importância dos métodos para os usuários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eficiência energética

Pode-se dizer que eficiência energética consiste em aproveitar melhor o uso da energia para obter um resultado, mantendo o conforto e a qualidade dos ambientes. Neste contexto, fica claro que a eficiência energética serve para realizar uma determinada tarefa com menos energia, ou gerar a mesma energia utilizando menos recursos naturais (EPE, 2018). Assim, a eficiência energética apresenta-se como uma importante aliada na redução da demanda de energia em residências, além da redução na utilização dos recursos naturais, agredindo menos o ambiente em que vivemos.

De acordo com Lambert *et al* (2016), pode-se definir eficiência energética como a utilização suficiente e racional da energia para realizar uma atividade, reduzindo apenas o uso energético, e não o trabalho, como consequência há também redução dos níveis de emissões de gases na atmosfera. Para que um edifício seja considerado eficientemente energético, o mesmo, precisa proporcionar as mesmas condições ambientais, com menor consumo energético quando comparado a outro.

O uso energético passa a ser utilizado de forma eficaz e aplicada para garantir que não haja perdas durante o processo realizado. É interessante, aliás, adotar medidas para reduzir o uso energético anual (LAMBERT *et al*, 2016).

Conforme Schutze e Holz (2021) a eficiência energética pode ser definida como a menor energia utilizada para atingir um mesmo resultado. Quando as ações que possam reduzir o uso energético são aplicadas, ocorre redução na oferta de energia, dispensando a ampliação das redes de distribuição, além da emissão dos gases de efeito estufa serem minimizados.

É importante considerar que a eficiência energética deve ser vista como uma série de fatores que, em conjunto, almejam um resultado satisfatório. Para o melhor desempenho de um edifício, segundo Leite (2013), deve-se tomar atitudes que minimizem o uso energético, utilizando os recursos naturais, além do uso de equipamentos eficientes, como a utilização de isolamento térmico, otimização de janelas, geração própria de energia, entre outros.

Programas de etiquetagem de equipamentos elétricos e eletrônicos representam um grande avanço na busca de eficiência energética, mas não se pode negar que o padrão de consumo de um prédio é moldado por inúmeros fatores, não sendo suficiente que seus componentes, individualmente considerados, apresentem bom desempenho. (LEITE, 2013, p. 8).

Para o autor, um melhor desempenho sustentável, edifício e equipamentos necessitam ser equivalentes ao consumo proposto. Esse é o motivo pelo qual é importante frisar esse ponto, pois o avanço em equipamentos elétricos no Brasil se sobressai quando comparado a desempenho de edifícios. Para Leite (2013), a única forma de resolver este problema é a conscientização dos usuários para o consumo de energia, e quanto ao edifício, adotar medidas construtivas mais eficientes.

É preciso ressaltar, diante destes dados, que a eficiência energética tem tido grandes avanços no que se refere a gastos em edifícios multifamiliares. Este é um fator de extrema importância para redução do consumo de energia no Brasil, sobretudo quando evidenciado um crescimento diário desta, fator que causa grandes impactos sociais e ambientais em todo o país.

2.2 Conforto térmico

Segundo Lamberts, Dutra, Pereira (2014) conforto térmico é o equilíbrio entre corpo e ambiente, que reflete na satisfação mental e corporal do usuário no local em que se encontra. Frota, Schiffer (2011), consideram o conforto térmico como a condição onde o corpo e o ambiente trocam calor sem grandes esforços.

Para a NBR 15-220 (2003), defini se conforto térmico como a satisfação psicofisiológica do usuário com as condições térmicas inseridas no ambiente. Já o desempenho térmico de uma edificação, segundo Gonçalves (2004), resume se a resposta do edifício quanto aos parâmetros climáticos internos, em relação ao clima da área em que se encontra.

De acordo com Lamberts (2016) conforto térmico facilita garantir ao ser humano a satisfação térmica, aumentando desta forma a produtividade do mesmo nas suas atividades, além da conservação energética com uso de climatizadores. Para o autor, os estudos desenvolvidos sobre conforto térmico têm como objetivo

“[...] analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente.”
(LAMBERTS, 2016, p. 4).

Os estudos sobre conforto térmico, estão baseados em três fatores, quais sejam: 1. A satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; 2. Na

melhoria, ou não da performance humana; e, 3. Na conservação de energia (LAMBERTS, 2016).

O conforto térmico pode ser aplicado a qualquer situação. Evidentemente a aplicação pode ser utilizada para aumentar a qualidade de vida dos que usufruem do ambiente, reduzindo a temperatura interna. Existem diversas variáveis para atingir o conforto total, os fatores para um clima quente e úmido, são diferentes para o clima quente e seco, além de que, cada usuário tem reação distinta entre si.

O conforto térmico, funciona como meio estratégico para redução das temperaturas internas das habitações, garantindo menor uso de condicionantes elétricos. Cita-se, como exemplo, as residências bem planejadas, com a utilização de materiais adequados, e posicionamento das esquadrias para melhor aproveitamento da ventilação natural, e menor incidência solar, bem também, como o estudo da geometria solar.

A inserção de medidas que a busquem a economia sem grandes aplicações financeiras, se dá na priorização dos projetos, para isto, deve se possuir mão de obra capacitada para lidar com as novas tecnologias e conceitos (GOMES, 2007).

O conforto térmico é, nesse sentido, a combinação satisfatória, em um ambiente, da temperatura radiante média (t_{rm}), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (t_a) e velocidade relativa do ar (v_r) com a atividade desenvolvida e com a vestimenta das pessoas (RUAS, 1999), a fim de tornar a habitação mais eficiente, tornando as temperaturas do ambiente menores com o uso de recursos naturais.

2.2.1 ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais-desempenho

A aplicação da Norma de Desempenho NBR - 15575 - Edificações habitacionais-Desempenho resulta em obras com melhor qualidade e maior vida útil, com novas tecnologias aplicadas e melhores condições para os usuários (BORGES, 2008). Compreender isso é um fator muito importante para podermos avaliar as técnicas eficazes para aplicação correta da Norma.

De acordo com Costella (2018, p. 1):

O conjunto de normas denominado NBR 15575 foi desenvolvido com a finalidade de estabelecer um padrão de desempenho mínimo nas edificações habitacionais, visando a qualidade e a inovação tecnológica na construção. Assim, o desempenho está relacionado com as exigências dos usuários de edifícios habitacionais e seus sistemas

referentes ao seu comportamento em uso, sendo uma consequência da forma como são construídos.

O desempenho mínimo estabelecido por norma é de grande valia para garantir a durabilidade e conforto para os usuários. O comportamento e exigências dos usuários se dá pela forma como os edifícios são construídos. Logo, o empreendedor precisa possuir um conhecimento significativo dos materiais e técnicas para que o resultado possa ser positivo perante o exigido.

Além dos empreendedores, a eficiência do edifício dependerá de todos os colaboradores, sendo assim:

[...] conferem à NBR 15.575 grande potencial de impacto sobre os incorporadores, construtores, projetistas, fabricantes de materiais, componentes e sistemas e responsáveis pelo controle tecnológico. Além desses atores, já presentes no processo de implantação da edificação habitacional, a norma contempla também o usuário, interveniente novo a ser incumbido de responsabilidade para o pleno cumprimento dos requisitos (SINAENCRO, 2015, p. 8).

A norma de desempenho, é composta por seis partes, divididas da seguinte forma:

Parte 1 - Requisitos Gerais: Nesta, são apresentados os requisitos gerais dos sistemas de sistema estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental, além de definições, responsabilidades e parâmetros.

Parte 2 - Sistemas estruturais: Nesta, são estabelecidos conceitos estruturais que devem conter uma edificação habitacional, além de requisitos para garantir a resistência a patologias e estabilidade da obra.

Parte 3 - Sistemas de pisos: Nesta, são apresentados requisitos e normativas para referência de pisos internos e externos da edificação, com dados quanto a coeficiente de atrito e escorregamento para tornar a utilização dos usuários mais segura.

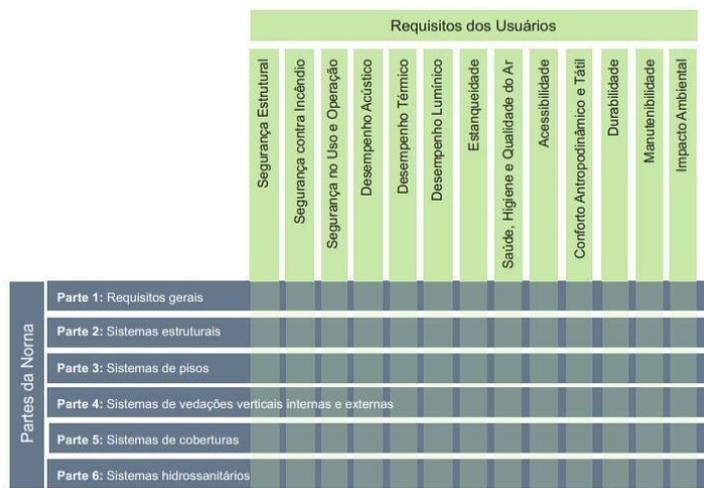
Parte 4 - Sistemas de vedação: Nesta, são estabelecidos requisitos quanto ao desempenho dos sistemas de vedação, como paredes e esquadrias, onde são tratadas condições da estanqueidade do ar, da água, contra rajadas de vento e estanqueidade para promover conforto térmico e acústico.

Parte 5 - Sistemas de coberturas: Nesta, são estabelecidos requisitos quanto aos materiais de revestimento dos telhados e outras superfícies de cobertura.

Parte 6 - Sistemas hidrossanitários: Nesta, são estabelecidos os requisitos para os sistemas de água fria e quente, esgoto sanitário e ventilação, além do sistema de águas pluviais, com conceitos para durabilidade, manutenção e funcionamento dos mesmos.

De acordo com Asbea (2015) os requisitos dos usuários devem ser atendidos de forma a promover segurança, habitabilidade e sustentabilidade, tendo para cada um desses tópicos solicitações particulares e expressos pelos fatores apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Matriz da norma de desempenho.



Fonte: ASBEA (2015, p. 6).

De acordo com a parte 4 da Norma, onde se trata dos requisitos para os sistemas de vedações, as paredes externas devem apresentar valores de transmitância e capacidade térmica que atinjam ao menos os valores mínimos estabelecidos por cada zona bioclimática descrita na NBR 15220. Desta forma, os valores devem ser ajustados de acordo com a tabela 1, com dados de transmitância térmica de paredes externas, e os requisitos mínimos para capacidade térmica de paredes externas são apresentados pela tabela 2.

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas.

Transmitância térmica U (W/m²K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,50	α ≤ 0,60	α > 0,60
	U ≤ 3,70	U ≤ 2,50
α é a absorvância á radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas.

Capacidade térmica (CT)	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

Além disso, os ambientes como sala e dormitórios, que são considerados como ambientes de longa permanência, devem possuir aberturas nas fachadas das edificações, com dimensões apropriadas para garantir a ventilação adequada dos ambientes, onde estas, devem apresentar áreas que atendam as normas específicas da legislação local, como códigos de obras, e onde não houver normas específicas, devem seguir os valores indicados na tabela 3.

Tabela 3 - Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar.

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
Mínimo	Zonas 1 a 7 Aberturas médias	Zona 8 Aberturas grandes
	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área do piso – região nordeste e sudeste do Brasil
NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

De acordo com a parte 5 da norma, os requisitos para os sistemas de cobertura, devem apresentar valores de transmitância térmica e absorvância a radiação solar que atinjam os valores mínimos estabelecidos por cada zona bioclimática.

Desta forma, estes valores devem ser ajustados de acordo com a tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica – M

Transmitância térmica - U (W/m ² K)
--

Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
$U \leq 2,30$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$	$\alpha \leq 0,40$	$\alpha > 0,40$
	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,50$
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura. NOTA O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.				

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013)

2.2.2 ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações

A NBR 15220 dispõe da verificação da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar, através de método de cálculo simplificado para análise. A verificação destas propriedades, deve atender os requisitos mínimos especificados pela norma, tendo como base o local de implantação das edificações e de sua zona bioclimática (PIZZONI, 2016).

De acordo com a NBR 15220 (2003, p. 01), a norma é dividida da seguinte forma:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A norma nos traz parâmetros específicos aplicados aos materiais a serem utilizados, onde seu entendimento é de extrema valia. Logo, podemos definir com base na NBR-15220-2, os seguintes parâmetros:

- Resistência térmica (R): Pode ser definida como o somatório das resistências térmicas de um elemento, incluindo todas as camadas. Onde cada camada, apresenta sua condutividade térmica de acordo com o material e sua espessura. O valor da resistência de cada camada, é definido pela equação a seguir, tendo como base, camadas heterogêneas, definido pelo caso a ser estudado.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

(Equação 2.1)

Onde, e representa a espessura da camada e λ é a condutividade térmica do material da camada.

- Transmitância térmica (U): Pode ser definida como o inverso da resistência térmica total, e é calculado pela equação a seguir:

$$U = \frac{1}{R}$$

(Equação 2.2)

- Capacidade térmica (Ct): Pode ser definida como a quantidade de calor para alterar a temperatura de um sistema em uma unidade. A capacidade térmica de cada camada, pode ser calculado pela equação a seguir:

$$Ct = \sum_{i=1}^n e_i c_i \rho_i$$

(Equação 2.3)

Onde, e representa a espessura da camada, c é o calor específico do material da camada e ρ é a densidade de massa aparente do material da camada.

-Fator solar de elementos opacos (FS_o): Pode ser definida pela divisão da taxa de radiação solar transmitida, pela radiação solar total incidente sobre a superfície. E pode ser calculada pela equação a seguir:

$$FS_o = 4 U \alpha$$

(Equação 2.4)

Onde U é a transmitância térmica do material e α é a absorptância à radiação solar.

-Fator solar de elementos translúcidos: Pode ser definida pela divisão da taxa de radiação solar transmitida sob determinado ângulo de incidência acrescido da parcela absorvida te sobre a superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre a superfície. E pode ser calculada pela equação a seguir:

$$FS_t = U \alpha R_{se} + \tau$$

(Equação 2.5)

Onde U é a transmitância térmica do material, α é a absorvância à radiação solar; R_{se} é a resistência superficial externa, e τ é a transmitância à radiação solar.

O tamanho das aberturas pode ser classificado em pequenas, médias e grandes, sendo especificadas por zona, e calculadas em função da área dos ambientes internos, tendo como referência para a classificação, a tabela 5.

Tabela 5 - Dimensão das aberturas para ventilação.

Aberturas para ventilação	A (em % da área do piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

Para as proteções externas como as paredes e coberturas, são dispostos valores admissíveis para a transmitância térmica, atraso térmico e fator solar classificados também por zona, e devem seguir a relação conforme a tabela 6. As características para as aberturas e sombreamentos das mesmas devem ser atendidas, conforme a tabela 7.

Tabela 6 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.

Vedações externas		Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – φ (Horas)	Fator solar – Fso (%)
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,30$	Fso $\leq 5,00$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,30$	Fso $\leq 4,00$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,50$	Fso $\leq 3,50$
Coberturas	Leve	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,30$	Fso $\leq 6,50$
	Leve refletora	$U \leq 2,30 * FT$	$\varphi \leq 3,30$	Fso $\leq 6,50$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,50$	Fso $\leq 6,50$
NOTAS				
1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)				
2 s aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).				

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

A tabela 8, apresenta critérios para os tipos de vedações externas em referência a zona climática da edificação, e a tabela 9, atribui dados de estratégias para o condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 8.

Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 8.

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve refletora
<p>Notas:</p> <p>1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas.</p> <p>2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências:</p> <p>a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e</p> <p>b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, em função da altura total para ventilação (ver figura 18), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela expressão 1.</p>

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 8.

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada permanente
	Nota:

	<p>O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.</p> <p>O código J é o mesmo adotado na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).</p>
--	--

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

A norma disponibiliza diversos dados de propriedades térmicas para paredes e coberturas, a fim de facilitar o projetista nas simulações. Além disto, a NBR-15220-4 demonstra o método para medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida, e a NBR-15220-5 o método para medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

2.2.3 Certificação LEED

O LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) foi desenvolvido pelo USGBC (U.S. Green Building Council), e de acordo com a GBC Brasil (2020), trate-se de um sistema de certificação ambiental para edificações, com foco em sustentabilidade nas atuações, com intuito de incentivar as transformações dos projetos e obras.

Ainda segundo a GBC Brasil (2020), o objetivo do LEED é criar edifícios que possam:

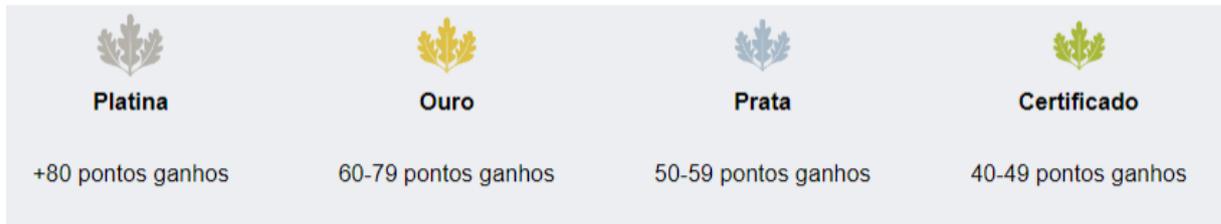
- Reduzir a contribuição para as mudanças climáticas globais.
- Melhorar a saúde humana individual.
- Proteger e restaurar os recursos hídricos.
- Proteger e melhorar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.
- Promover ciclos de materiais sustentáveis e regenerativos.
- Melhorar a qualidade de vida da comunidade.

O LEED apresenta simples estrutura, baseando se em especificações de desempenho, tendo como referências, princípios ambientais e o uso de energia já consolidados por normas e recomendações como ASHRAE, EPA16 e DOE17 (SILVA, 2003).

Segundo a USGBC (2022), edifícios com certificação LEED, são capazes de criar ambientes mais saudáveis para os usuários, melhorar a eficiência e economia de dinheiro, além de reduzir as emissões de carbono. E para a obtenção da certificação, a cada pré-requisito aderido, como emissão de carbono, energia, água, resíduos, transporte, materiais, saúde e

qualidade ambiental interna, o edifício ganha pontos que são acumulados, e este, corresponde a um nível de certificação LEED, que são classificados conforme a Figura 2:

Figura 2 - Nível de Certificação LEED.



Fonte: USGBC (2022).

A certificação LEED pode ser aplicada em qualquer fase da construção e a diversos projetos, inclusive reformas e novas construções, e seguem etapas conforme a Figura 3. Os empreendimentos que buscam a certificação LEED são avaliados nas categorias conforme a Figura 4.

Figura 3 - Etapas para Certificação LEED.



Fonte: GBC Brasil (2020).

Figura 4 - Categorias avaliadas na Certificação LEED.



Fonte: GBC Brasil (2020).

2.3 Building Information Modeling – BIM

O *Building Information Modeling* (BIM), pode ser entendido como a modelagem da informação da construção, onde o conjunto de informações de um modelo são agrupados de forma digital, em tese, pode se dizer que é um modelo virtual preciso da edificação de forma virtual. O modelo confeccionado de forma correta, contém todos os dados essenciais para auxílio da construção, fabricação e fornecimento de materiais necessários para construção (EASTMAN *et al*, 2008). Aliás, quando aplicado, o BIM contribui para a melhor qualidade das construções, além da redução de prazos e custos.

Para Mello (2012), o BIM pode ser entendido como um método com base em modelos tridimensionais de um edifício, para gerenciamento e criação de projetos de forma rápida e econômica gerando menor impacto ambiental. Este conjunto de dados, possibilita a redução de erros e maior confiabilidade nos dados obtidos através do modelo criado.

Conforme explicado acima, o BIM deve ser entendido como uma metodologia e não como um software em si, porém, pode-se utilizar de diversos softwares que já implementaram esta tecnologia, como *Revit*, *Navisworks*, *Archicad*, *Altoqi*, entre outros.

É possível, aliás, especificar diversos fatores como custos, materiais, propriedades térmicas e acústicas de todos os elementos modelados neste conceito. E de acordo com Eastman (2008, p. 1):

o BIM também incorpora muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para novas capacidades da construção e modificações nos papéis e relacionamentos da equipe envolvida no empreendimento.

Fica evidente, diante desse quadro que o BIM pode reduzir o tempo de execução, auxiliar no gerenciamento de obras, além de aumentar a confiabilidade das informações, com isto, a comunicação entre profissionais e projetos, se dá de maneira mais simples e eficaz. Visto que, a utilização de softwares com o uso dessa tecnologia é de suma importância para uma análise mais detalhada de qualquer empreendimento.

2.3.1 Conhecendo o(a) análise computacional

Define-se simulação como a ação ou efeito de simular (SIMULAÇÃO, 2022), ou a reprodução de um processo por meio do funcionamento de outro. A simulação computacional, possui o mesmo propósito, porém com a necessidade de um computador para reprodução. Um protótipo de simulação, é capaz de simular variadas ou todas as propriedades de um sistema (CHWIF, 2015).

Como bem nos assegura Guterres (2017), pode se dizer que a simulação é o ato de modelar um protótipo de um sistema real, para a realização de experimentos e análises, com o objetivo de avaliar o funcionamento dos mesmos, ou o desempenho de materiais e métodos. Ou seja, é a verificação do comportamento dos sistemas reais, através de modelos computacionais.

Ainda de acordo com o autor, uma simulação computacional é a concepção da realidade mais próxima possível do real comportamento do sistema, porém, de forma mais simples. Logo, o protótipo deve ser construído seguindo todas as características e materiais do modelo real, no caso deste trabalho, um edifício, a fim de conseguir resultados mais precisos e semelhantes aos da realidade.

O modelo de simulação, segundo Chwif (2015), é composto de três grandes etapas, quais sejam: a concepção ou formulação do modelo; a implementação do modelo e a análise dos resultados do modelo.

Cotidianamente nos habituamos a resolver as nossas dificuldades por meio de comparações e semelhanças com a realidade. Podemos perceber conforme citado acima que esse quadro remete a uma otimização do tempo e redução de erros e achismos na hora da construção e escolha de materiais a serem empregados nas simulações. Não é exagero afirmar que dessa forma podemos ter construções mais limpas e confortáveis para os usuários, sobretudo quando tratamos de residências unifamiliares.

3 METODOLOGIA

Como bem nos assegura Gil (2007), pode-se dizer que pesquisa é um processo sistemático e lógico que tem como objetivo descobrir ou mostrar fatos a um problema ou conhecimento proposto. Compreendemos que é necessário realizar a pesquisa quando dispomos de um problema e existe a incapacidade de respondê-lo.

A pesquisa ora apresentada, conforme destacamos na Introdução deste trabalho, pretende responder como a aplicação do *Software Revit* pode influenciar nas estratégias para reduzir a temperatura internas dos ambientes nas edificações multifamiliares e é caracterizada como qualitativa e exploratória, tendo sido desenvolvida a partir do estudo de um caso. De acordo com Polit, Becker e Hungler (2004, p. 201):

A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana. Por outro lado, a pesquisa qualitativa tende a salientar os aspectos dinâmicos, holísticos e individuais da experiência humana, para apreender a totalidade no contexto daqueles que estão vivenciando o fenômeno.

De acordo com Gil (2007) essencialmente, a pesquisa exploratória consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A pesquisa busca, além de proporcionar familiaridade com o problema, torná-lo mais explícito. Envolve, além de levantamento bibliográfico, a análise de exemplos que estimulem a compreensão do problema. Para Minayo (2000), a fase exploratória da pesquisa envolve a escolha do tópico de investigação, delimitação do marco teórico conceitual, escolha dos instrumentos de coleta de dados e a exploração do campo.

A pesquisa adota, conforme já afirmado, um caráter teórico-bibliográfico, uma vez que faz uso de materiais já elaborados como livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos e enciclopédias na busca e alocação de conhecimento sobre o uso dos recursos naturais e materiais empregados na construção de edifícios multifamiliares como ferramenta para análise do conforto térmico.

Por fim, a pesquisa se caracteriza como um estudo de caso. Para Yin (2001, p. 26), os estudos de caso são a estratégia preferível quando as perguntas colocadas são do tipo “como” e “porquê”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco é um fenômeno contemporâneo inserido em algum contexto da vida real.”

Cabe informar que devido a utilização de simulações para quantificar e analisar a temperatura dos ambientes internos de uma edificação multifamiliar, esta pesquisa teve abordagem quantitativa. Nesse sentido, como a simulação tem base na tentativa e erro, testes e experimentações, tem-se o tipo de raciocínio hipotético-dedutivo para que a partir dos resultados seja possível a comparação e análise dos resultados e benefícios da utilização do software.

Como instrumento para coleta de dados utilizou-se as normas ABNT NBR 15575: Edificações Habitacionais-Desempenho e ABNT NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações. Com estas, é possível levantar as informações mais importantes sobre o tema, como dados de transmitância térmica de diversos materiais, diretrizes construtivas separadas por zonas, e técnicas e normativas a serem seguidas, que servirá como fonte de dados para as simulações.

As informações coletadas sobre os métodos já propostos por outros autores, auxiliou na escolha dos softwares a serem utilizados nas simulações de iluminação natural. Como ferramenta escolhida para este estudo, foi utilizado o *software REVIT*, o *plugin Insight*, e o *Green Building Studio*, onde estes são uma extensão do próprio software, desenvolvidos pela *Autodesk*, sendo ferramentas de processamento em nuvem.

Com isto, a fim de alcançar o objetivo geral proposto por esse trabalho, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Formulação e levantamento de informações da transmitância térmica, densidade e calor específico de todos os materiais aplicados a edificação;
2. Definição e modelagem do projeto em BIM para aplicação das ferramentas Insight® e Green Building Studio;
3. Execução das possíveis simulações de iluminação natural, levando em consideração as exigências das NBR 15575, NBR 15220 e sistemas de certificação LEED;
4. Descrição e modelagem do processo de simulação em Revit, com o uso das ferramentas INSIGHT e GBS para análises térmicas;
5. Análise dos resultados, a fim de verificar se o *Software REVIT* possui um método de processo eficiente que possa ser aplicado a edificações multifamiliares.

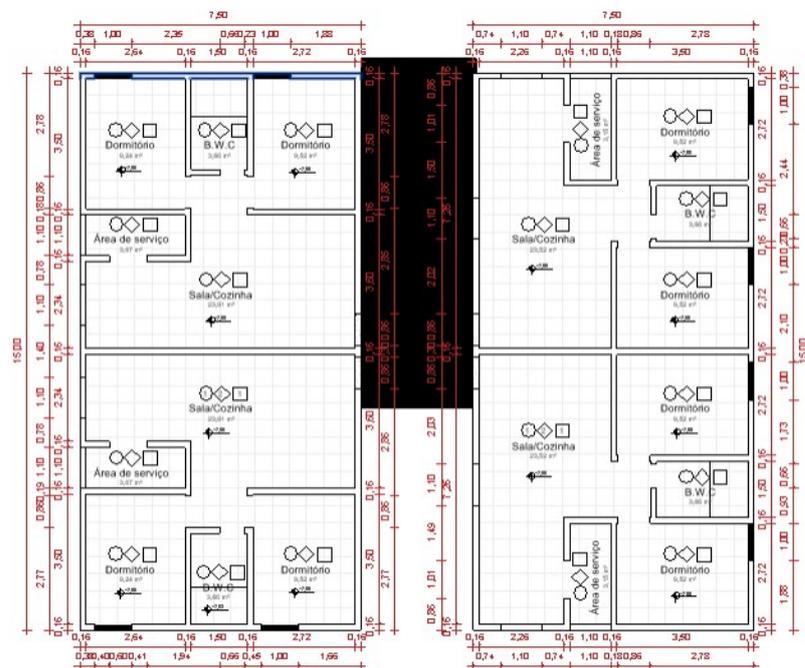
3.1 Edificação Proposta

O estudo iniciou-se pela modelagem computacional de uma habitação multifamiliar tendo como instrumento o Programa *Autodesk Revit®*, na versão 2020, para análise da ferramenta quanto as suas limitações para o estudo térmico.

A edificação multifamiliar modelada e analisada é uma habitação de interesse social, com arquitetura desenvolvida pela Prefeitura de Limoeiro do Norte - CE, e em parceria com o Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções - LAREB/UFC, com o intuito de melhorar os processos e aplicações no âmbito da Engenharia Civil.

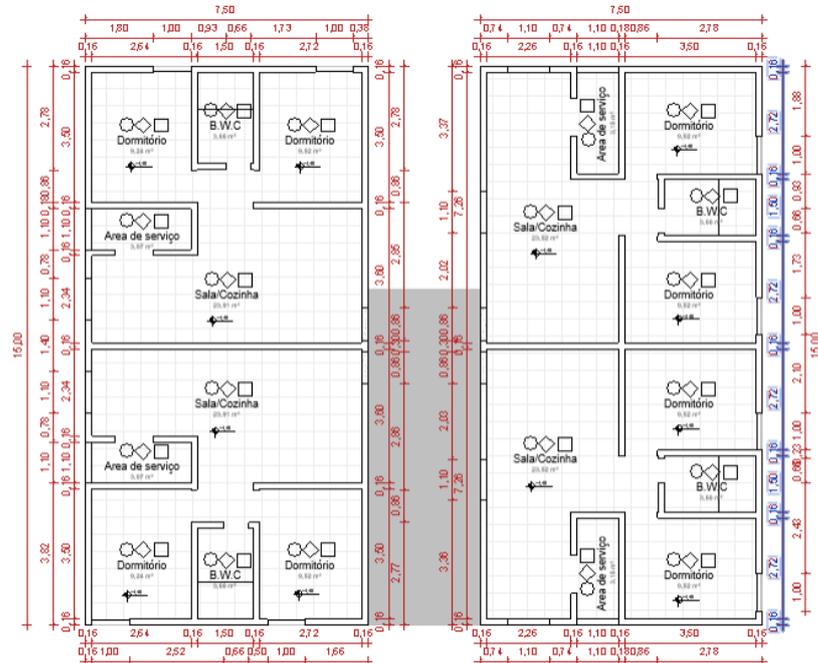
Esta, conta com quatro blocos tipo constituídos pelo térreo e 03 (três) pavimentos superiores, e cada pavimento possui 02 (duas) unidades, sendo assim, oito unidades por bloco e trinta e duas unidades ao todo. Cada unidade possui sala conjugada com cozinha, área de serviço, banheiro e 02 (dois) dormitórios, com área total de 50,00 m² em média cada. A Figura 05 contém a disposição em planta baixa da parte frontal da edificação e a Figura 06 contém a disposição em planta baixa da parte posterior da edificação.

Figura 5 - Planta baixa da parte frontal da edificação proposta nas simulações.



Fonte: Autoria própria (2022).

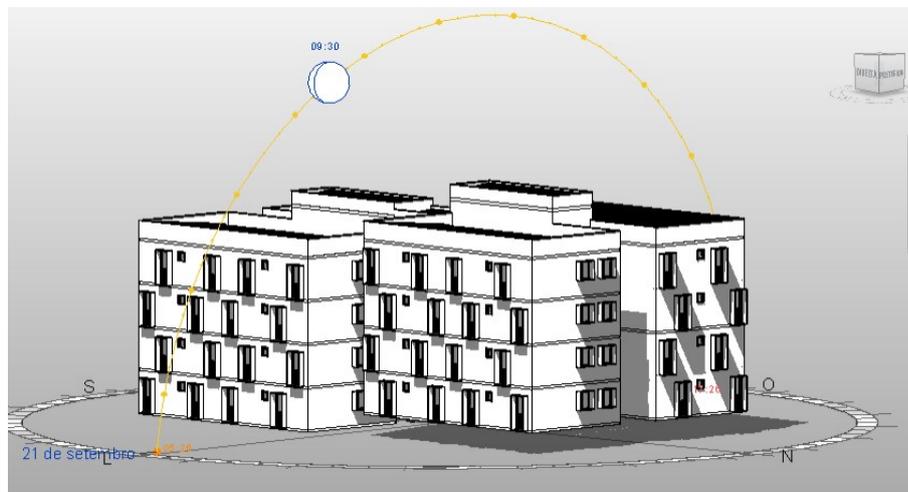
Figura 6 - Planta baixa da parte posterior da edificação proposta nas simulações.



Fonte: Autoria própria (2022).

Todos os 06 (seis) blocos tipo contém a mesma forma, dimensão, número de unidades e orientação. Assim, a realização deste estudo teve como pesquisa um único bloco tipo, sendo utilizado como referência para as outras unidades. A Figura 7, apresenta o modelo 3d da edificação e a Figura 8, a planta baixa do bloco utilizado para as simulações.

Figura 7 - Modelo 3d da edificação estudada.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 8 - Planta baixa do bloco tipo utilizado para as simulações.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 Características da Edificação

Conforme a NBR 15-220 e NBR 15-575 foram classificadas em pequenas, médias ou grandes, todas as aberturas inseridas na edificação. Estas, foram classificadas conforme a porcentagem em relação da área de piso do ambiente inserido, e podem ser observados conforme a Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Dimensões das aberturas adotadas na modelagem.

Ambiente	Área Ambiente (m ²)	Abertura				Classificação	
		Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	% em relação a área	NBR 15-220	NBR 15-575
Sala/Cozinha	24,07	1,10	1,10	1,21	5,027	Não se aplica	Pequena
Área de serviço	2,90	1,10	1,10	1,21	41,72	Grande	Grande
Dormitório 01	9,24	1,00	2,10	2,10	22,72	Média	Grande
Dormitório 02	9,52	1,00	2,10	2,10	22,05	Média	Grande
Banheiro	3,66	0,60	0,60	0,36	9,83	Não se aplica	Grande

Fonte: Autoria própria (2022).

Para realização das simulações da edificação proposta, foram definidos os parâmetros e propriedades dos elementos construtivos, e inseridos na simulação por meio do *Revit 2020*. A Tabela 11 representa os elementos escolhidos para a edificação e a Tabela 12 suas propriedades térmicas que foram inseridas no software.

Tabela 11 - Elementos construtivos da edificação.

Elemento Construtivo	Camada
Janela	Vidro Comum e Alumínio
Parede Externa	Argamassa, Bloco Cerâmico, Argamassa
Parede Interna	Argamassa, Bloco Cerâmico, Argamassa
Piso	Laje de Concreto, Argamassa, Cerâmica
Porta Externa	Madeira
Porta Interna	Madeira
Cobogó	Concreto
Moldura Janela	Concreto
Telhado	Telha de fibrocimento

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 12 - Propriedades térmicas dos materiais.

Material	Condutividade Térmica [W/mK]	Densidade [kg/m³]	Calor Específico [kJ/kgK]
Bloco Cerâmico	0,38	1890	0,92
Alumínio	230,00	2.700,00	0,88
Argamassa	1,15	2.100,00	1,00
Vidro	1,00	2.500,00	0,84
Concreto	1,75	2.400,00	1,00
Telha de Fibrocimento	0,65	1.700,00	0,84
Madeira	0,15	600,00	1,34

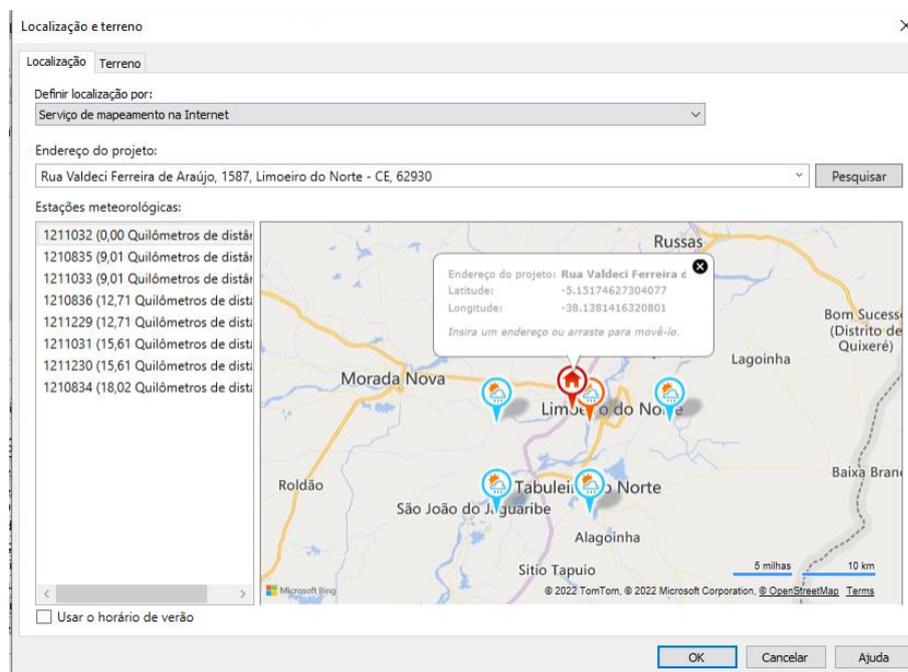
Fonte: NBR – 15220-2 (2005).

Foram obtidos através da norma NBR 15220-2 (2005) as propriedades térmicas de cada material empregado no edifício multifamiliar, conforme a Tabela acima. Os materiais não considerados na simulação foram definidos como inertes (sem características térmicas).

3.3 Configurações iniciais para simulação

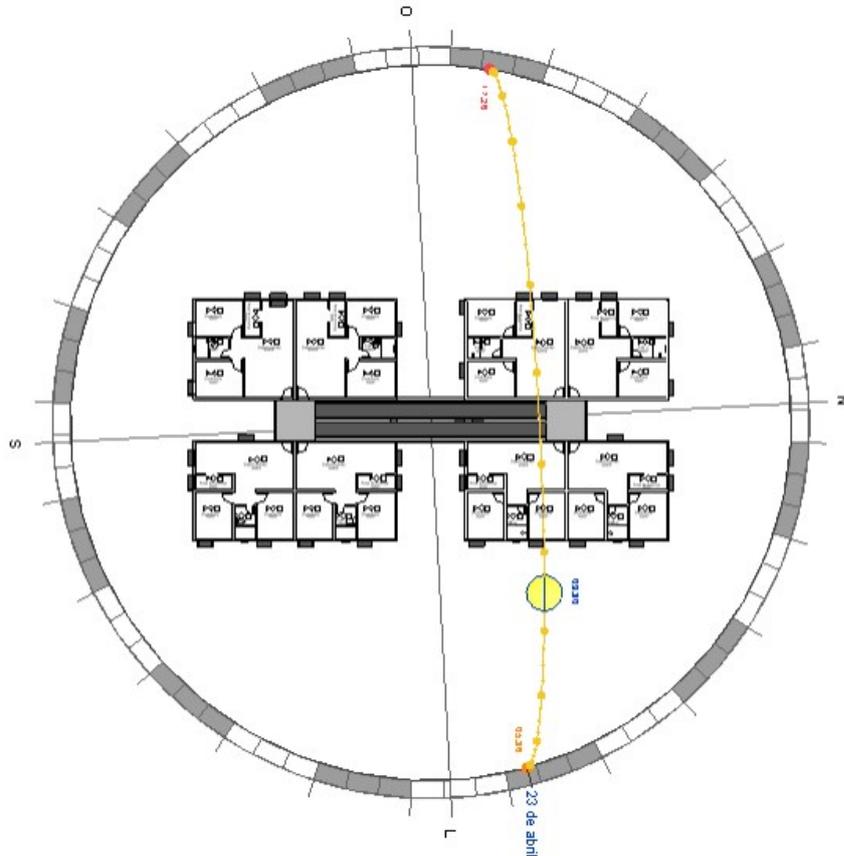
As simulações foram realizadas considerando a localidade de Limoeiro do Norte, mais precisamente na Comunidade da Cidade Alta (Latitude: 5° 09' 06.5" Sul, Longitude: 38° 08' 18.9" Oeste), e foram inseridas no Software Revit conforme a Figura 9. A cidade mais próxima classificada pela norma NBR 15-220, é a cidade de Jaguaruana-CE, pertencente a zona 8, logo, utilizaremos esta como referência para este trabalho. Além disso, também foi definido o norte verdadeiro para que o caminho solar seja o mais próximo da realidade, como mostrado na Figura 10.

Figura 9 - Sistema de localização das estações meteorológicas mais próximas da edificação.



Fonte: Autoria própria (2022).

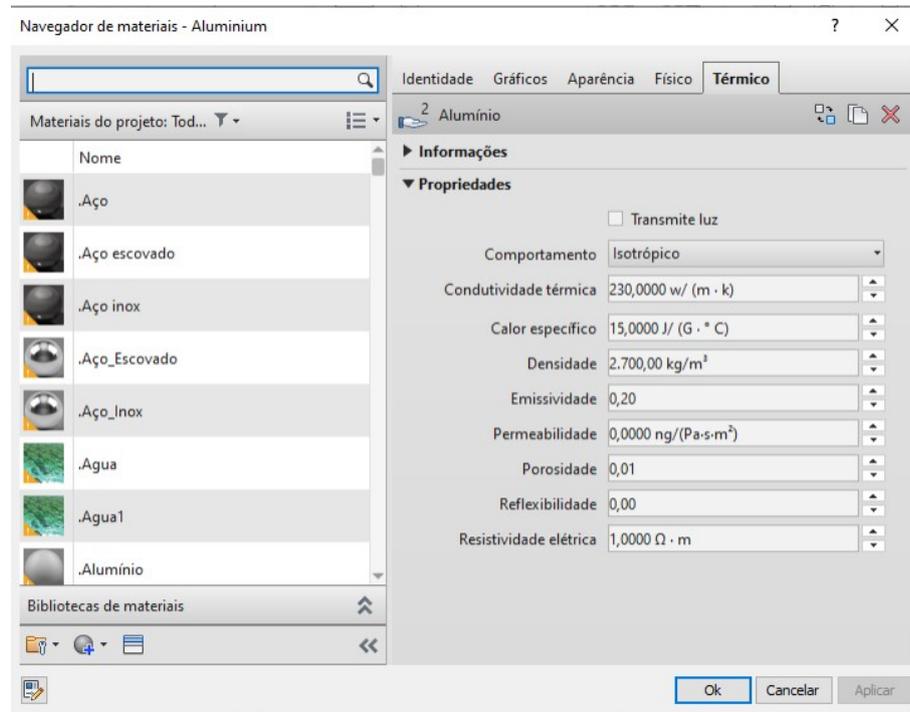
Figura 10 - Simulação do Caminho Solar (dia 23/04/2022 as 09:30h).



Fonte: Autoria própria (2022).

O *Revit* permite a aplicação dos materiais utilizadas no modelo, podendo ser divididos por camadas. Estes, representam materiais reais, e podem ser configurados adicionando suas propriedades térmicas, que são utilizadas para a simulação posteriormente. Informações como a espessura, condutividade térmica, calor específico e densidade, podem ser inseridos conforme a Figura 11, para que a partir dos dois primeiros parâmetros a resistência térmica de superfície e a superfície do componente construtivo possam ser calculados automaticamente.

Figura 11 - Janela de configurações das propriedades térmicas dos materiais no Revit 2020.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.4 Simulação

3.4.1 Green Building Studio – GBS

Para a simulação térmica, foi utilizada o plugin integrado ao *Revit*, o *Green Building Studio (GBS)*, que utiliza os elementos da construção como pisos, paredes, janelas e portas, para simulação de energia, e análise térmica da edificação. O *GBS*, é uma ferramenta utilizada dentro do *software Revit*, ambos desenvolvidos pela Autodesk, e de acordo com o desenvolvedor, o principal objetivo é auxiliar edificações para melhor desempenho energético.

Quando definido a localização do projeto, o software realiza um mapeamento online no banco de dados climáticos da *Autodesk*, e seleciona a estação climática mais próxima, fornecendo dados como temperatura de bolbo seco, temperatura de ponto de orvalho, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação normal direta, radiação horizontal global e difusa que podem ser acessados online no site da *Green Building Studio*.

O *plugin*, utiliza o software DOE-2.2 como base para as simulações, onde é criado um modelo de energia, e exportado ao site do GBS para coleta de dados (VENDRAME, 2017). Pode-se também, calcular a quantidade de energia anual do edifício, além de estimar a quantidade de carbono emitida por ele.

O *plugin* pode ser utilizado de forma simples, logo após a execução das configurações iniciais mostradas anteriormente, segue-se com a criação do modelo de energia no Revit. Para isto, basta clicar na aba “Analisar”, selecionar “Criar o modelo de energia”, e aguardar a simulação ser finalizada. Os resultados podem ser encontrados online no site do GBS.

3.4.2 *Insight*

O *Insight* é um *plugin* utilizado dentro do *software RVT*, desenvolvido também pela *Autodesk*, e será utilizado para a realização das simulações. Após realizadas, os resultados podem ser vistos dentro do próprio programa como planta baixa, ou visualização 3d. O processo é relativamente simples, porém deve-se atentar a inserção dos horários e datas inseridos, que devem seguir as exigências das normas ou certificações de referência para o estudo.

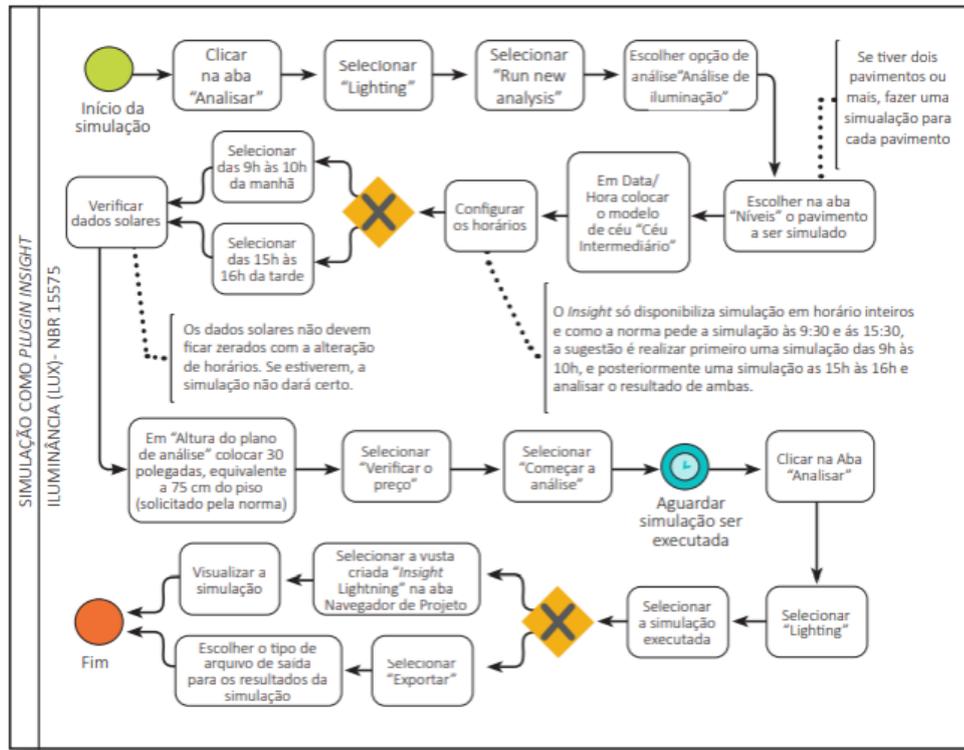
O *plugin* é utilizado para verificar e analisar os principais indicadores de desempenho, e melhorar o desempenho energético e ambiental do edifício ao longo do ciclo de vida útil do mesmo. Pode se, visualizar os principais indicadores de desempenho para alcançar os melhores resultados em tempo real, além disso, o software é capaz de estimar os gastos energéticos do edifício em R\$/m²/ano ou Kw/m²/ano.

3.4.2.1 *Segundo a NBR-15575*

Para realização da simulação de iluminância, levou-se em consideração um período pela manhã (09h30min) e outro a tarde (15h30min), em duas datas diferentes, a primeira em 23 de abril (outono) e a segunda em 23 de outubro (primavera).

Porém, o *software* não permite a inserção de meio horário, logo, levou-se em consideração o horário de 09h às 10h, e 15h às 14h. Foi escolhida a opção “Céu intermediário” para todas as simulações, a uma altura de 75cm ou 30 polegadas acima do nível de cada pavimento, conforme a norma NBR 15-575. E para todas as simulações, seguiu-se o passo a passo da Figura 12 abaixo.

Figura 12 - Processo para a simulação de Iluminância (LUX) – NBR 15575

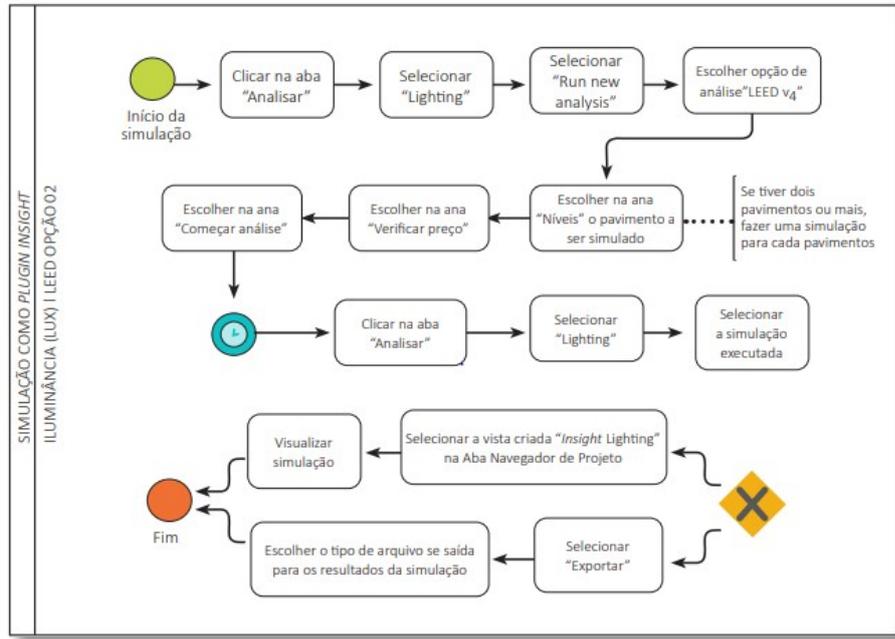


Fonte: Oliveira, Spiel, Crippa (2020).

3.4.2.2 Segundo a Certificação LEED

Realizou-se também, a simulação com base na certificação *LEED*, inclusa no *plugin Insight*, sendo o processo similar ao dito anteriormente, porém, nesta simulação o plugin já possui configurado os parâmetros de dia e hora, e tipo de céu automáticos conforme as instruções do *LEED*: céu limpo (fator de nebulosidade); dia 21 de setembro; às 9h am e 3h pm. Da mesma forma, realizou-se a simulação para todos os pavimentos, conforme o passo a passo da Figura 13.

Figura 13 - Processo para a simulação de Iluminância (LUX) – LEED V4.1



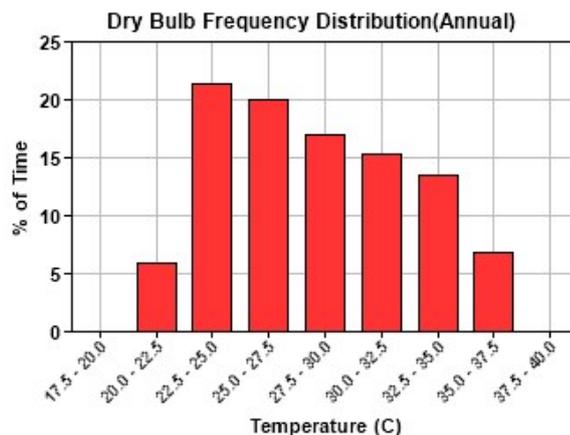
Fonte: Oliveira, Spiel, Crippa (2020).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Análise Green Building Studio – GBS

Logo após a simulação, pode-se coletar os seguintes dados referentes ao modelo estudado, onde são visualizados pela plataforma, de forma online. A Figura 14, apresenta a frequência de distribuição de bulbo seco anual em temperatura por porcentagem de tempo.

Figura 14 - Frequência de distribuição de bulbo seco em temperatura por porcentagem de tempo.

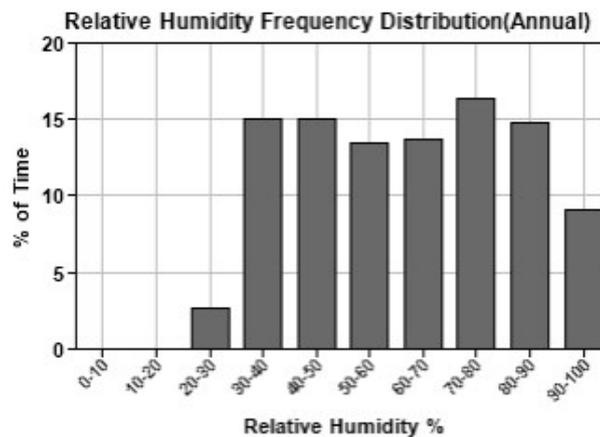


Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

Segundo Rafael (2019), a temperatura de bulbo seco refere-se a temperatura do ar livre, protegido de radiação e umidade, e tem este nome devido a umidade do não interferir na temperatura indicada no termômetro, além disso, é um indicador do teor de calor do ar. Pode se considerar como a temperatura média apresentada no edifício, tendo como valor mais frequente os valores de 22,5 °C a 25°C.

A Figura 15, apresenta a frequência de umidade relativa do ar anual, umidade por porcentagem de tempo.

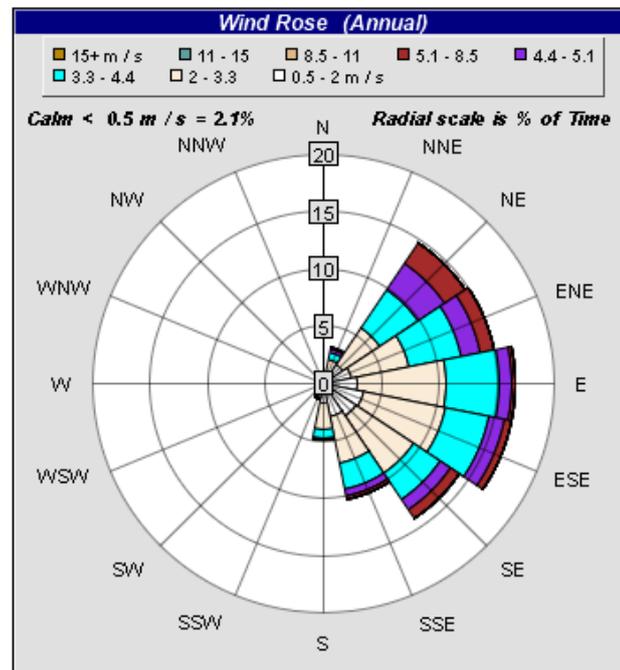
Figura 15 - Frequência de umidade relativa do ar anual, umidade por porcentagem de tempo.



Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

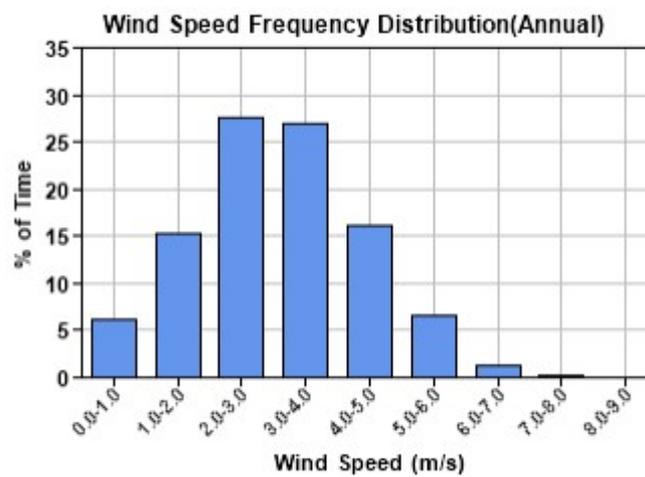
A Figura 16 apresenta o gráfico de frequência e velocidade do vento em cada direção gerado pelo GBS. A figura 17 apresenta a frequência da velocidade do ar anual, em velocidade por porcentagem de tempo.

Figura 16 - Rosa dos ventos - Distribuição de velocidade do vento (m/s).



Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

Figura 17 - Velocidade (m/s) por porcentagem de tempo.

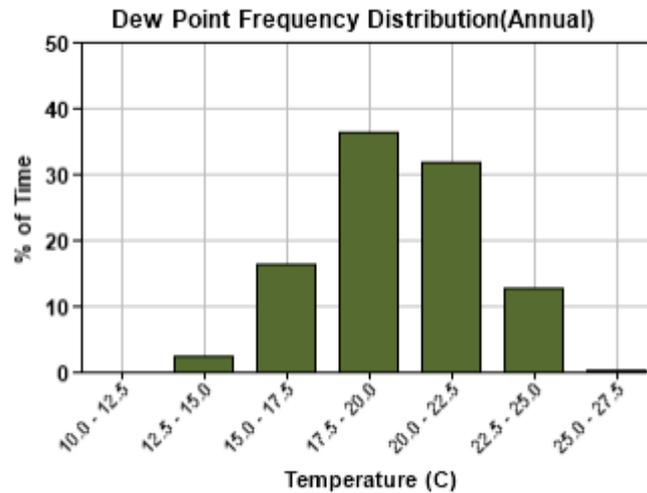


Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

Desse modo, o resultado das figuras anteriores é de suma importância para a elaboração e aprimoramento do sistema de ventilação do edifício, onde podemos aproveitá-lo o máximo possível. Quanto mais afastado do centro radial, maior é a frequência do vento. Além disso, a direção de maior frequência de ventos, é a mesma da parte superior do edifício.

A Figura 18 apresenta o gráfico de frequência de distribuição do ponto de orvalho anual durante todo o ano, em temperatura por porcentagem de tempo.

Figura 18 - Distribuição do ponto de orvalho anual por porcentagem de tempo.

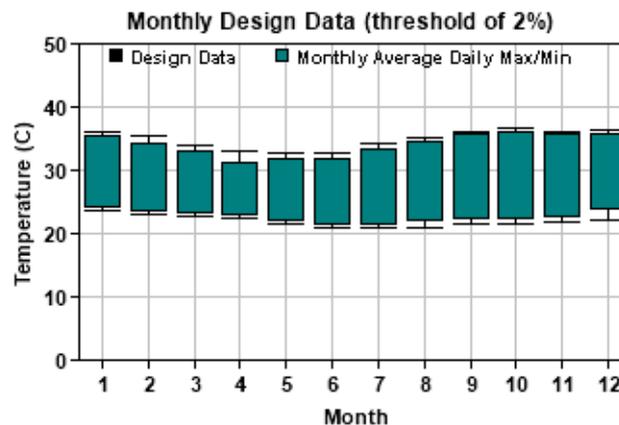


Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

O ponto de orvalho representa a temperatura onde o vapor d'água inicia a condensar, e o ar úmido torna-se saturado. A temperatura do ponto de orvalho, é um indicador da quantidade de umidade no ar. Se a umidade relativa do ar estiver alta, significa que a temperatura do ponto de orvalho está próxima da temperatura do ar, porém, se a umidade do ar é baixa, significa que a temperatura do ponto de orvalho se encontra-se muito abaixo da temperatura do ar (RAFAEL, 2019).

A Figura 19, apresenta o gráfico de temperatura média durante todo o ano, levando em consideração a estação meteorológica onde o edifício está localizado.

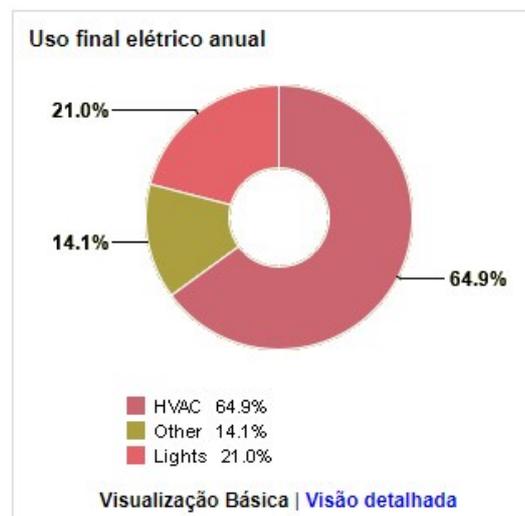
Figura 19 - Temperatura média por mês.



Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

Percebe-se que, durante todo o ano as temperaturas médias apresentam valores relativamente altos, tendo como valores entre 25° e 35°. Deste modo, o GBS calcula o consumo de energia elétrica do edifício, e divide-o em três (sistema de climatização (AVAC), sistema de iluminação, e equipamentos elétricos diversos). Desse modo o consumo elétrico pode ser visualizado conforme na figura 20:

Figura 20 - Consumo anual de energia elétrica no modelo:



Fonte: Autoria própria, gerado pelo GBS (2022).

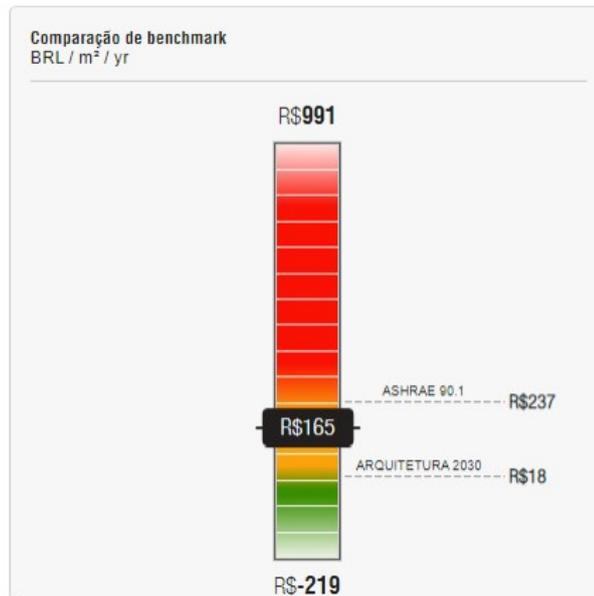
Como pode-se observar na figura acima, maior parte do consumo do edifício se dá para o uso de climatizadores, valores estes, que representam mais de 50% do total obtido. Desta forma, o uso dos recursos naturais é de total importância para redução destes valores.

4.2 Análise *Insight*

As análises foram realizadas para todos os pavimentos da edificação, inserindo as configurações requeridas pela norma NBR-15575, onde foram realizadas 4 (quatro) simulações, conforme explicado anteriormente. E para a certificação LEED, foram realizadas apenas 1 (uma) simulação, com data e horário predefinido pelo plugin.

O software é capaz de estimar os gastos energéticos do edifício em R\$/m²/ano ou Kw/m²/ano, fazendo comparações com a ASHRAE 90.1 e a ARQUITETURA 2030 e podem ser visualizados conforme a Figura 21.

Figura 21 - Comparação com os métodos ARCHITECTURE2030 e ASHRAE 90.1 em R\$/m²/ano e Kw/m²/ano respectivamente.



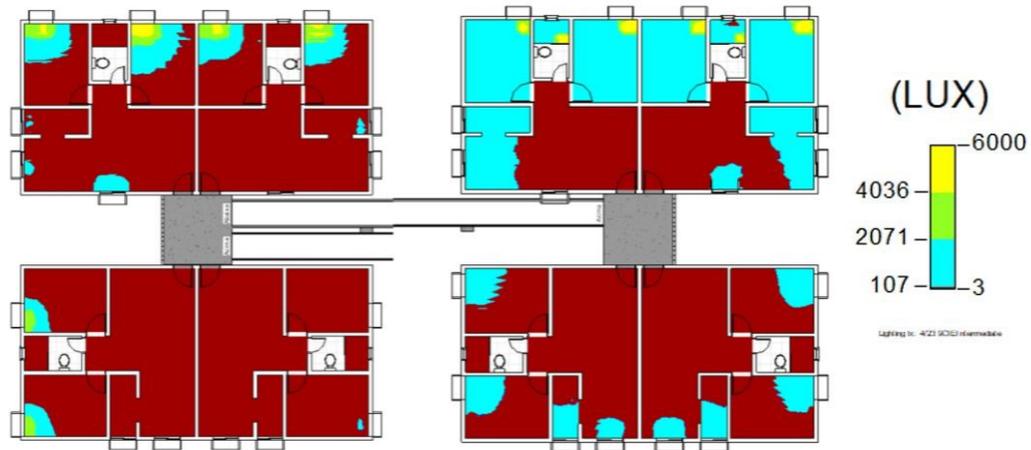
Fonte: Autoria própria, gerado pelo Insight (2022).

O ASHRAE90.1 consiste no padrão do American National Standards Institute (ANSI) publicado pela ASHRAE que fornece requisitos mínimos para projetos de eficiência energética para edifícios e a ARQUITETURA 2030 estabelece medidas drásticas na redução de emissões de gases de efeito estufa e no uso de energia. Deste modo, o edifício simulado, apresenta bons resultados quanto ao consumo energético dentro da categoria.

4.2.1 Simulação de luminância dia 23 de abril (09:00h as 10:00h)

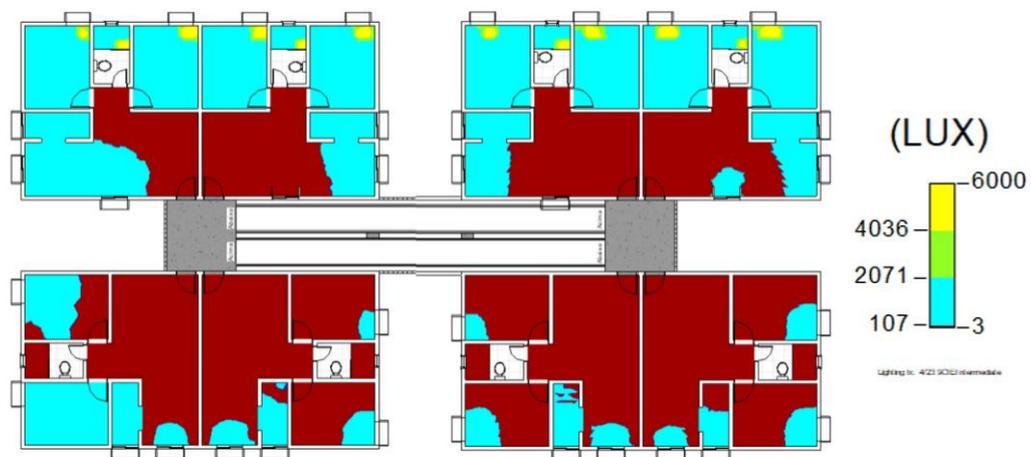
Os resultados para o dia 23 de abril, com horário definido das 09h às 10h, podem ser visualizados abaixo. A Figura 22, traz dados de luminância em LUX, para o pavimento térreo. A Figura 23, traz dados de luminância em LUX, para o primeiro pavimento, a Figura 24, traz dados de luminância em LUX, para segundo pavimento, e a Figura 25 traz dados de luminância em LUX, para o terceiro pavimento.

Figura 22 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 23 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 24 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 25 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3º pavimento.



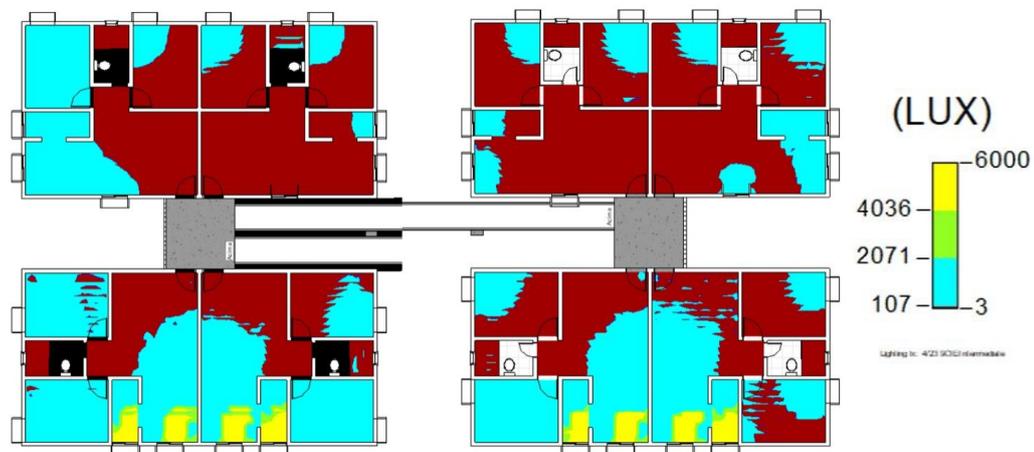
Fonte: Autoria própria (2022).

Com estes dados, pode-se observar maior fluxo de luminância na parte superior do edifício, devido a posição das unidades apresentarem mesma direção do amanhecer. Além disso, as unidades superiores, a luminância se apresenta em maior quantidade do que as inferiores.

4.2.2 Simulação de luminância dia 23 de abril (15:00h as 16:00h)

Os resultados para o dia 23 de abril, com horário definido das 15h às 16h, podem ser visualizados abaixo. A Figura 26, traz dados de luminância em LUX, para o pavimento térreo. A Figura 27, traz dados de luminância em LUX, para o primeiro pavimento, a Figura 28, traz dados de luminância em LUX, para segundo pavimento, e a Figura 29 traz dados de luminância em LUX, para o terceiro pavimento.

Figura 26 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 27 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 28 - Resulta

UX) conforme a NBR 15575 do 2°



2).

Figura 29 - Resulta

UX) conforme a NBR 15575 do 3°

pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Diante dos dados, pode-se observar desta vez, maior fluxo de luminância na parte inferior do edifício. Fato já esperado, devido a posição das unidades apresentarem mesma direção do pôr do sol. Além disso, as unidades superiores, da mesma forma, a luminância se apresenta em maior quantidade do que as inferiores.

4.2.3 Simulação de luminância dia 23 de outubro (09:00h as 10:00h)

Os resultados para o dia 23 de outubro, com horário definido das 09h às 10h, podem ser visualizados abaixo. A Figura 30, traz dados de luminância em LUX, para o pavimento térreo. A Figura 31, traz dados de luminância em LUX, para o primeiro pavimento, a Figura 32, traz dados de luminância em LUX, para segundo pavimento, e a Figura 33 traz dados de luminância em LUX, para o terceiro pavimento.

Figura 30 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 31 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 32 - Result

UX) conforme a NBR 15575 do 2°



22).

Figura 33 - Result

UX) conforme a NBR 15575 do 3°

pavimento.



Fonte: Aatoria própria (2022).

Os resultados obtidos são similares as da simulação no dia 24 de abril, no mesmo horário. Pode-se observar maior fluxo de luminância na parte superior do edifício, no entanto com maior intensidade. Além disto, as unidades inferiores, a luminância se apresenta em maior quantidade do que a simulação anterior. Estes fatores, ocorrem devido a primavera (estação incidente no mês analisado) apresentar período de maior incidência de luz solar.

4.2.4 Simulação de luminância dia 23 de outubro (15:00h as 16:00h)

Os resultados para o dia 23 de outubro, com horário definido das 15h às 16h, podem ser visualizados abaixo. A Figura 34, traz dados de luminância em LUX, para o pavimento térreo. A Figura 35, traz dados de luminância em LUX, para o primeiro pavimento, a Figura 36, traz dados de luminância em LUX, para segundo pavimento, e a Figura 37 traz dados de luminância em LUX, para o terceiro pavimento.

Figura 34 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do pavimento térreo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 35 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 1º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 36 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 2º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 37 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme a NBR 15575 do 3º pavimento.



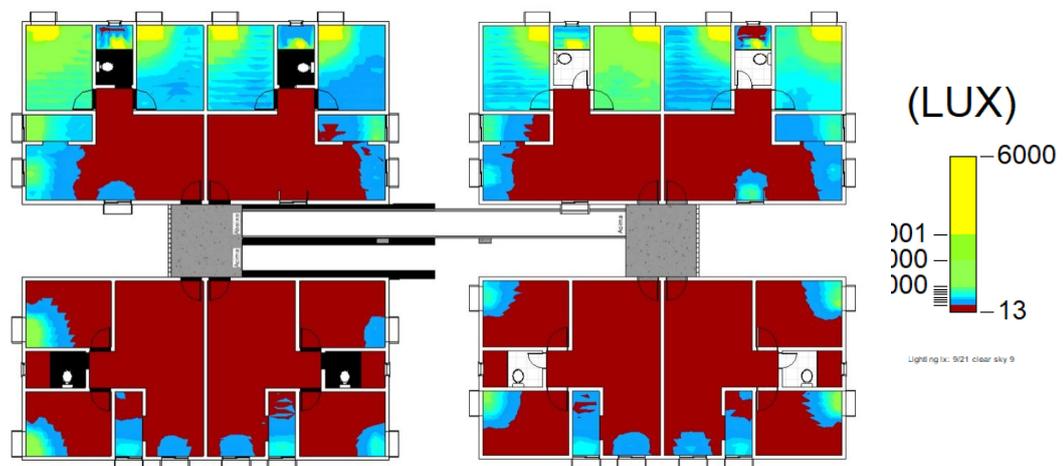
Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados desta, são similares as simulações realizadas anteriormente. Pode-se observar maior fluxo de luminância na parte inferior do edifício, no entanto, a parte superior ainda apresenta bastante intensidade.

4.2.5 Simulação de luminância com base na certificação LEED

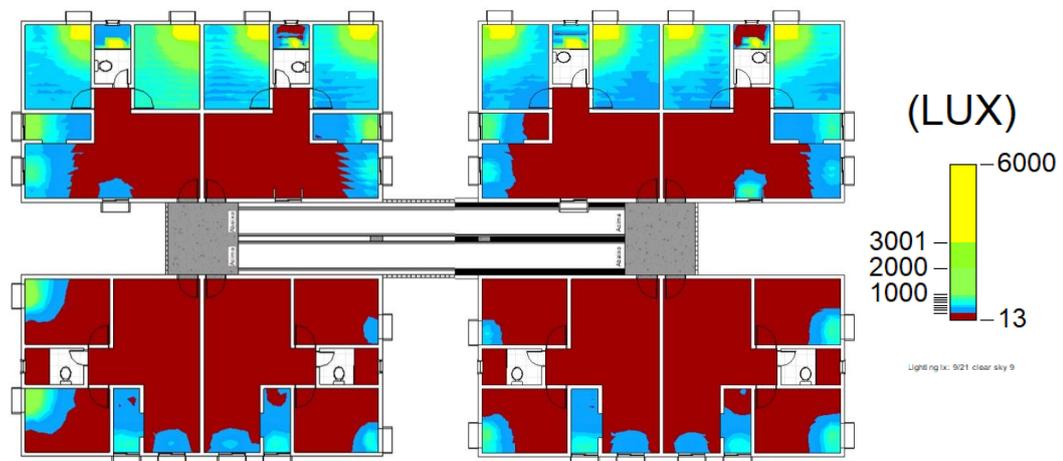
Os resultados com base na Certificação LEED, com horários pré-definidos pelo software, podem ser visualizados abaixo. A Figura 38, traz dados de luminância em LUX, para o pavimento térreo. A Figura 39, traz dados de luminância em LUX, para o primeiro pavimento, a Figura 30, traz dados de luminância em LUX, para segundo pavimento, e a Figura 41 traz dados de luminância em LUX, para o terceiro pavimento.

Figura 38 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do pavimento térreo.



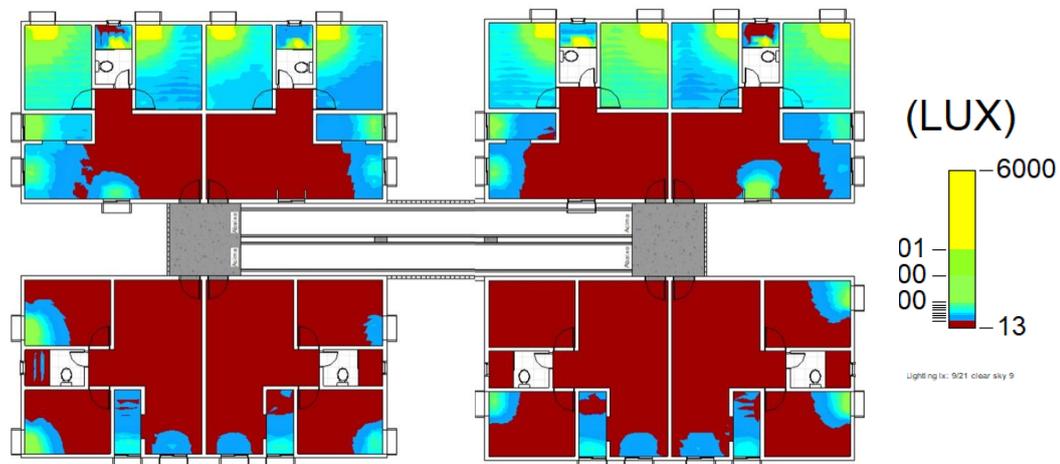
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 39 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 1º pavimento.



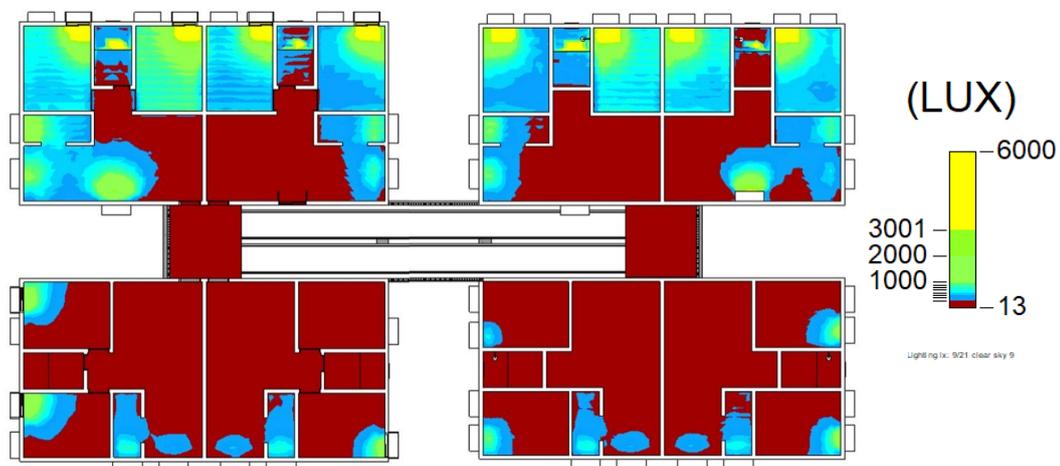
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 40 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 2º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 41 - Resultados da simulação de Iluminância (LUX) conforme o LEED v4 EQc7 do 3º pavimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

As simulações de luminância conforme LEED v4, apresentaram resultados similares aos anteriores, porém, com maior precisão quanto a variação interna em cada ambiente, deste modo, tendo maior confiabilidade nos dados apresentados.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou a análise do *software* Revit quanto a sua capacidade para simulações térmicas, além de demonstrar os benefícios do uso do mesmo para aumentar a qualidade de vida dos usuários, e avaliar como a aplicação das normas de desempenho auxiliam no resultado.

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o *software Revit*, e seus *plugins*, consideram variáveis específicas para a simulação, sendo estas de extrema importância para a avaliação do desempenho térmico, e produz resultados esperados pelo que é proposto pela ferramenta.

Com isto, pode-se avaliar que o programa possui algumas delimitações que influenciam no resultado da simulação, e ponto negativo principal, a ausência de ferramentas que possibilitem a definição temperatura interna. Este, é um dos fatores principais para a análise térmica dos ambientes, tornando assim a avaliação efetiva de desempenho térmico pela norma NBR 15575 insuficiente.

As aberturas definidas em projetos, se classificam em sua maioria, como médias, de acordo com a NBR-15220-3. Entretanto, para a localização escolhida, o ideal seria que fossem classificadas como grandes, com valores maiores que quarenta por cento de área em relação ao ambiente. Deste modo, acredita-se que a ventilação interna nos ambientes ocorresse com maior intensidade, diminuindo as temperaturas internas nos ambientes.

Com os dados fornecidos pelo GBS, pode-se definir a melhor direção das aberturas conforme a rosa dos ventos, locando-as sempre que possível, na direção de maior incidência, e ainda com os dados de frequência de bulbo seco, pode-se verificar temperatura média do edifício com maior tempo de incidência.

As simulações de luminância dispostas pelo Insight, conforme a NBR-15575, apresentam um processo simplificado e rápido, permitindo que haja alterações quanto a data e hora específicas, além da seleção dos níveis em que deseja realizar o a simulação. Os resultados do processo, dispôs de dados como o esperado anteriormente, apresentando incidência solar intensa no período de 15h às 16h, e durante a primavera, na data do dia 23 de abril.

Fica evidente que os resultados obtidos, ainda que pouco detalhados, são de extrema valia para o projetista, devido a fácil interpretação dos dados, e a rapidez com que estes são disponibilizados, auxiliando nas decisões a serem tomadas para melhor solução para a edificação. Além disso, as simulações de luminância, mesmo que não apresentem resultados

como temperatura, podem nortear o profissional sobre os pontos onde há maior insolação, e possivelmente apresentará maior temperatura, devido ao clima onde a edificação está inserida.

Em prol de obtermos melhores resultados, pode-se ampliar as molduras das aberturas, com o intuito de diminuir a incidência direta nos ambientes, sobretudo nos dormitórios. Além disso, é de extrema importância, o estudo dos materiais de alvenaria e posicionamento das aberturas da face inferior do edifício, devido a área receber incidência solar direta durante o período da tarde.

Dada a importância do tema, para o desenvolvimento de projetos futuros torna-se necessário a implementação de outros softwares como o *EnergyPlus*, para a realização de análises mais a fundo do edifício, complementando resultados satisfatórios quanto temperatura e ventilação natural.

Logo, é indiscutível o fato que o *software Revit* é utilizado atualmente pela maioria dos projetistas e profissionais da construção civil. E seus plugins, mesmo que de forma simples, auxiliam nas tomadas de decisões durante a modelagem e definições das características de uma edificação, principalmente em edificações multifamiliares. Fato este, devido a agilidade e apresentação imediata dos resultados. Portanto, torna-se evidente que o *software Revit* tem grande potencial de avaliação de edificações, para alcançar o melhor desempenho térmico da edificação.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRA Standard 55**: Thermal environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA (ASBEA). **Guia para Arquitetos na Aplicação da Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575**. 1 ed. São Paulo: ASBEA, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ANBT). **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2003.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008.

CHWIF, LEONARDO; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria & aplicações**, 4. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

COSTELLA, MARCELO FABIANO. **Norma de Desempenho de Edificações: Modelo de Aplicação em Construtoras**. 1º. ed. Curitiba: Appris, 2018.

EASTMAN, CHARLES M., *et al.* **BIM Handbook - A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 1º. Ed. - , Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., p.01, 2008.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (ENP). **Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: 15 de abril de 2022.

FROTA, ANÉSIA BARROS. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. — São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GBS BRASIL, Green Building Council Brasil. **Certificação LEED**. Disponível em: [https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/#:~:text=O%20LEED%20\(Leadership%20in%20Energy,e%20a%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20do%20mesmo](https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/#:~:text=O%20LEED%20(Leadership%20in%20Energy,e%20a%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20do%20mesmo). Acesso em: 18 de julho de 2022.

GERHARDTE, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica–Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2007.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

GONÇALVES, H. **Ambiente construído: clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa**. Lisboa: INETI, 2004.

GUTERRES, MARCELO XAVIER. **Aula Simulação - módulo 01**. Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariadeproducao/files/2016/08/modulo-01-sim-al-notas-de-aula-guterres-2017.pdf> Acesso em 15 de abr. 2022.

LAMBERTS, Roberto; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. 7. Ed. - Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3º. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel/Ministério de Minas e Energias, 2014.

LEITE, Humberto Carlos Pereira. **Eficiência energética aplicada à reforma e construção de novos edifícios**. Monografia (Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono). Programa de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LONGUI, Fernanda Tiecher. **Arquitetura residencial multifamiliar mais saudável: Proposição de um guia orientativo composto por diretrizes projetuais saudáveis**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo - Rio Grande do Sul, 2017.

MELLO, Ricardo Bianca. **BIM e custos: maximize os dados do modelo com o Navisworks e o Quantity Takeoff**. Autodesk University do Brasil. 2012. Disponível em: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/au/Brasil>. Acesso em: 15 de abr. 2022.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v15n2/1678-8621-ac-15-02-0007.pdf> Acesso em: 15 de abr. 2022.

OLIVEIRA, Gabriela Bardelli de; SPIEL Elaine; CRIPPA, Julianna. **Simulação computacional para análise de iluminação natural em projetos de edifícios sustentáveis desenvolvidos em BIM**. Programa de Apoio à Iniciação Científica – PAIC. FAE Centro Universitário - Campus Curitiba, 2020.

PIZZONI, Candida Pasini. Análise de Desempenho Térmico de Habitação de Interesse Social conforme a NBR 15220 e proposta de retrofit em madeira. IV Encontro de Sustentabilidade em Projeto. **Anais...** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização**. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

RUAS, A.C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999.

SANTO, Amabeli Dell. **O impacto da janela no conforto térmico: Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SCHUTZE, Amanda; HOLZ, Rhayana. **Eficiência energética no Brasil**. Disponível em: <<https://pp.nexojornal.com.br/linha-do-tempo/2021/Efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-no-Brasil1>>. Acesso em: 15 de abr. de 2022.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003.

SIMULAÇÃO. In: **DICIO**, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/simula%C3%A7%C3%A3o/>. Acesso em: 17/07/2022.

SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE ARQUITETURA (SINAENCO). **NBR 15575:2013 - Os impactos da Norma de Desempenho no Setor da Arquitetura e Engenharia Consultiva**. P. 8, São Paulo: SINAENCO, 2015.

USGBC, U.S. Green Building Council. **Sistema de classificação LEED**. Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed>. Acesso em: 18 de julho de 2022.

YIN, Robert. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2. Ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001.