



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO, LUMINOSO E  
ACÚSTICO DE DUAS EDIFICAÇÕES EM BRASÍLIA-DF**

Mariana Silva Couto Cavalcanti Pires

**Brasília, 2024**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PESQUISA EM TECNOLOGIA, AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (TAS)

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO TÉRMICO, LUMINOSO E  
ACÚSTICO DE DUAS EDIFICAÇÕES EM BRASÍLIA-DF**

Mariana Silva Couto Cavalcanti Pires

Orientadora: Dra. Chenia Rocha Figueiredo

Aos meus pais, Vânia e Gilson, pelo cuidado, amor e  
apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Conseguir chegar ao fim dessa dissertação foi extremamente desafiador. Depois de muitas incertezas, energia e estudo, chegou este momento tão esperado. Mais um capítulo superado na minha vida profissional. A cada um que viabilizou essa conquista, minha eterna gratidão.

Ao Espírito Santo que se fez presente em toda a jornada evidenciando minhas vocações e me dando forças quando esmorecia pelo caminho.

À minha orientadora, Chenia Figueiredo, obrigada por tanto me inspirar, por acreditar em mim desde que tive meu primeiro contato na graduação. Todo seu encorajamento, paciência e conhecimento foram fundamentais para que eu não desistisse. A grande engenheira da minha vida como arquiteta, a você meu muitíssimo obrigada!

À Universidade de Brasília, que sempre me fez crescer diante dos grandes desafios e ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo por todo apoio.

Ao meu amado Alexandre Pires, meu abrigo para os bons e maus momentos, meu admirador e que sempre me incentiva a ir além.

À minha irmã de vida, Amanda Campanati, que esteve presente em todos os meus degraus acadêmicos, profissionais e emocionais. Aonde quer que eu vá, o que quer que eu faça, sem você não tem graça.

Agradeço aos meus irmãos e familiares por acreditarem em mim e na minha capacidade, e por tornarem a vida mais agradável durante todo o processo. À Débora Quintanilha, minha parceira de estudos que me serviu como aliada.

E, por fim, agradeço ao meu neném, Fernando. Cada chute que você deu na barriga da mamãe me deu forças para concluir esta pesquisa e me encheu de propósito.

## RESUMO

A norma de desempenho tem impulsionado a busca por maior qualidade nas edificações, sendo está relacionada às condições climáticas e construtivas. O presente estudo avaliou o desempenho térmico, luminoso e acústico de dois edifícios residenciais em Brasília comparando dados de simulações computacionais e medições *in loco*. As medições *in loco* do edifício *A* revelaram que, quanto maior a área envidraçada, maior a temperatura interna e que a fachada mais quente foi a norte, enquanto as simulações de desempenho térmico conduziram para o uso de estratégias adicionais de sombreamento na fachada norte-oeste. A maior iluminância obtida nas medições *in loco* do edifício *B* ocorreu na fachada norte-oeste, sendo que as simulações de desempenho luminoso demonstraram a influência da geometria dos ambientes e da posição das janelas na distribuição da luz natural, principalmente em unidades mais profundas. Pode-se observar que tanto na projeção quadrada (edifício *A*) quanto na projeção retangular (edifício *B*), no verão, o lado mais crítico é o norte-oeste para as condições climáticas avaliadas. A simulação computacional do edifício *B* mostrou que a fachada norte-oeste é a menos favorável para o desempenho térmico no verão, sendo necessário realizar a análise paramétrica com a alteração do tipo de vidro e inclusão de peitoril opaco com uso interno de painel em drywall. Os níveis de ruídos foram satisfatórios com a adoção de estratégias construtivas apontadas no relatório de simulação acústica, como o uso de blocos de concreto com maior espessura, preenchidos com argamassa, entre quartos adjacentes de unidades diferentes. O edifício *B* possui fachada unitizada, com fechamento em painéis de alumínio e vidros de alta performance, sistemas de vedação eficientes e esquadrias do tipo *maxim-ar* para melhor desempenho acústico, contudo o custo desse sistema de fachadas representou cerca de 11% do custo total da obra. Observou-se os desafios para alcançar os padrões rigorosos estabelecidos pela norma de desempenho, sendo fundamental a combinação de diferentes estratégias projetuais e construtivas, evidenciando a eficiência da simulação computacional como ferramenta preditiva para alcançar esses padrões construtivos.

**Palavras-chave:** norma de desempenho; simulação computacional; medições *in loco*; Brasília.

## ABSTRACT

The performance standard has driven the search for higher quality in buildings, which is conditioned by climatic and construction conditions. This study evaluated the thermal, luminous and acoustic performance of two residential buildings in Brasília by comparing data from computer simulations and in situ measurements. In situ measurements of building A revealed higher temperatures on the north façade and a larger glazed area. Thermal performance simulations led to the use of additional shading strategies on the northwest façade of building A, considered the most critical. The highest illuminance obtained in the in situ measurements of building B occurred on the northwest façade, and the luminous performance simulations demonstrated the influence of the geometry of the rooms and the position of the windows on the distribution of natural light, especially in deeper units. It can be observed that in both the square projection (building A) and the rectangular projection (building B), in summer, the most critical side is the northwest for the evaluated climatic conditions. The computer simulation of building B showed that the northwest façade is the least favorable for thermal performance in summer, making it necessary to perform a parametric analysis with the change in the type of glass and the inclusion of an opaque window sill with the internal use of drywall panels. The noise levels were satisfactory with the adoption of construction strategies indicated in the acoustic simulation report, such as the use of thicker concrete blocks, filled with mortar, between adjacent rooms of different units. Building B has a unitized façade, with aluminum panels and high-performance glass, efficient sealing systems and maxim-ar type frames for better acoustic performance, however its cost was approximately 11% of the total cost of the project. The challenges to achieving the rigorous standards established by the performance standard were observed, with the combination of different strategies being essential, highlighting the efficiency of computer simulation as a predictive tool to achieve these construction standards.

**Keywords:** performance standard; computer simulation; on-site measurements; Brasília.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre as exigências dos usuários, as condições de exposição e os métodos de avaliação da NBR 15575.	26
Figura 2 - Metodologia esquematizada da presente pesquisa.	37
Figura 3 - Imagem do edifício A.	40
Figura 4 - Planta baixa do apartamento 115, 117 e 219 do edifício A.	41
Figura 5 - Imagem do edifício B.	44
Figura 6 - Planta baixa do apartamento 101 e 106 do edifício B.	45
Figura 7 - Carta Solar com ângulos de incidência solar de Brasília - DF.	50
Figura 8 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 106 e 115 do edifício A.	50
Figura 9 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 116 e 117 do edifício A.	51
Figura 10 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 219 do edifício A.	51
Figura 11 - Vista geral da orientação solar dos apartamentos em que foram realizadas as medições e simulações no edifício B.	52
Figura 12 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 101 e 102 do edifício B.	52
Figura 13 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 105 e 106 do edifício B.	53
Figura 14 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apartamento 211 do edifício B.	53
Figura 15 - Aparelho Termo-Higro-Decibelímetro-Luxímetro Digital Portátil TDHL 400, da Instrutherm.	55
Figura 16 - Fachada frontal do edifício A.	66
Figura 17 - Fachada frontal do edifício B.	66
Figura 18 - Imagens do equipamento utilizado nos apartamentos 106, 215 e 216, respectivamente, do edifício A.	67
Figura 19 - Planta baixa da unidade 116 do edifício A.	68
Figura 20 - Planta baixa da unidade 106 do edifício A.	69
Figura 21 - Equipamento sendo utilizado nos apartamentos 101 e 106 do edifício B.	69

Figura 22 - Planta baixa da unidade 101 do edifício <i>B</i> .	71
Figura 23 - Planta baixa da unidade 106 do edifício <i>B</i> .	72
Figura 24 - Localização do apartamento 115 e 219 - Edifício <i>A</i> .	75
Figura 25 - Temperatura medida no apartamento 219 do edifício <i>A</i> e valores da temperatura mínima, média e máxima, segundo dados do INMET.	76
Figura 26 - Planta baixa apartamento 211 - Edifício <i>B</i> .	79
Figura 27 - Localização dos apartamentos 105 e 211 na planta baixa geral do edifício <i>B</i> .	79
Figura 28 - Temperatura medida no apartamento 211 do edifício <i>B</i> e valores da temperatura mínima, média e máxima, segundo dados do INMET.	80
Figura 29 - Planta pavimento tipo Edifício <i>A</i> .	82
Figura 30 - Planta baixa dos apartamentos 106 e 113 do edifício <i>A</i> .	85
Figura 31 - Planta baixa dos apartamentos 115 e 215 do edifício <i>A</i> .	86
Figura 32 - Tabela de referência por cores da iluminância, em lux.	86
Figura 33 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de abril às 9h30min, segundo a simulação computacional.	87
Figura 34 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de abril às 15h30min, segundo a simulação computacional.	87
Figura 35 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de outubro às 9h30min, segundo a simulação computacional.	88
Figura 36 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de outubro às 15h30min, segundo a simulação computacional.	88
Figura 37 - Planta baixa do apartamento 107 do edifício <i>A</i> .	89
Figura 38 - Perspectiva do edifício <i>A</i> com os apartamentos simulados em destaque.	90
Figura 39 - Imagem ilustrativa do espaço gourmet de uso coletivo no edifício <i>A</i> .	91
Figura 40 - Planta baixa do edifício <i>B</i> com os apartamentos utilizados na simulação lumínica.	92
Figura 41 – Perspectiva do edifício <i>B</i> com as edificações vizinhas e as unidades habitacionais analisadas destacadas.	92
Figura 42 - Tabela de referência por cores da iluminância, em lux.	93



Figura 43 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de abril às 9h30min, segundo a simulação computacional.	93
Figura 44 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de abril às 15h30min, segundo a simulação computacional.	94
Figura 45 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de outubro às 9h30min, segundo a simulação computacional.	94
Figura 46 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de outubro às 15h30min, segundo a simulação computacional.	95
Figura 47 - Gráfico da temperatura, em °C, em Brasília e a zona de conforto ideal.	97
Figura 48 - Apartamentos analisados para o período do verão (em vermelho) e para o inverno (em azul) no edifício A.	98
Figura 49 - Perfil de temperaturas das zonas dos apartamentos 209 e 210 por simulação computacional durante o dia típico de verão com 1 ren/h.	99
Figura 50 - Representação 3D do modelo computacional da unidade habitacional 601, simulada para o verão.	102
Figura 51 – Especificações de fachada utilizados para a simulação térmica do edifício B.	103
Figura 52 - Temperaturas obtidas na simulação computacional do apartamento 601 durante o dia típico de verão com 5 ren/h e sombreamento de 50% das aberturas, para o vidro laminado SunGuard.	107
Figura 53 - Perfil de temperatura das zonas do apartamento 613 avaliadas durante o dia típico de inverno, com 1 ren/h.	108
Figura 54 - Iluminância, em lux, obtida pela simulação computacional e <i>in loco</i> do apartamento 106 do edifício A.	122
Figura 55 - Iluminância, em lux, obtida pela simulação computacional e nas medições <i>in loco</i> do apartamento 101 do edifício B.	124
Figura 56 - Detalhe da planta dos apartamentos finais 9 e 11 que possuem cômodos adjacentes no edifício B.	130
Figura 57 – Classificação resumida do desempenho luminoso do edifício A.	141
Figura 58 – Classificação resumida do desempenho luminoso do edifício B.	142
Figura 59 - Valores médios da temperatura, em °C, dos apartamentos 106, 115, 116, 117 e 219 do edifício A e a faixa de conforto térmico.	143

Figura 60- Comparação entre as temperaturas internas dos apartamentos do edifício <i>B</i> e a faixa de conforto térmico.	144
Figura 61 – Classificação resumida do desempenho térmico do edifício <i>A</i> .	145
Figura 62 – Classificação resumida do desempenho térmico do edifício <i>B</i> .	147

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para desempenho acústico da norma de desempenho NBR 15575.	27
Tabela 2 - Requisitos de desempenho térmico para unidades residenciais segundo a norma de desempenho NBR 15575.	28
Tabela 3 - Requisitos de desempenho lumínico para unidades residenciais segundo a norma de desempenho NBR 15575.	29
Tabela 4 - Componentes construtivos da cobertura do edifício A.	42
Tabela 5 - Componentes construtivos da envoltória do edifício A.	42
Tabela 6 - Componentes construtivos da fachada do edifício A.	42
Tabela 7 - Características dos ambientes simulados do edifício A.	43
Tabela 8 - Componentes construtivos da cobertura do edifício B.	45
Tabela 9 - Componentes construtivos da envoltória do edifício B.	46
Tabela 10 - Componentes construtivos da fachada do edifício B.	46
Tabela 11 - Características dos ambientes.	47
Tabela 12- Parâmetros e Referências da NBR 15575 para medições <i>in loco</i> .	56
Tabela 13 - Dados de dias típicos de verão e inverno de Brasília.	57
Tabela 14- Parâmetros e referências para simulação do desempenho térmico.	58
Tabela 15 – Níveis de iluminância, para luz natural, estabelecidos pela NBR 15575.	58
Tabela 16- Parâmetros e referências para simulação do desempenho lumínico.	59
Tabela 17 - <i>Checklist</i> dos itens que demandam maior atenção, relacionados ao desempenho acústico.	61
Tabela 18- Níveis de desempenho acústico da NBR 15575.	61
Tabela 19- Parâmetros e referências para simulação do desempenho acústico.	62
Tabela 20 - Materialidade e aspectos arquitetônicos dos edifícios A e B.	63
Tabela 21- Etapas da análise e discussão de resultados da pesquisa.	65
Tabela 22- Parâmetros analisados no desempenho térmico do edifício A e B.	65
Tabela 23 – Valores médios da iluminância, em lux, dos apartamentos 106, 115, 116, 117 e 219.	67
Tabela 24 – Valores médios da iluminância, em lux, do apartamento 101, 102, 105, 106 e 211.	70

Tabela 25 - Temperatura média do ar (°C) no Distrito Federal em 2023.	73
Tabela 26 – Valores médios de temperatura, em C°, do apartamento 106, 115, 116, 117 e 219.	74
Tabela 27 – Valores médios de temperatura, em C°, do apartamento 101, 102, 105, 106 e 211.	77
Tabela 28 – Valores médios de acústica, em dB, do apartamento 106, 115, 116, 117 e 219.	81
Tabela 29 – Valores médios de acústica, em dB, do apartamento 101, 102, 116, 105 e 211.	83
Tabela 30 - Desempenho lumínico do apartamento 107 segundo os critérios da norma NBR 15575 de acordo com a simulação computacional.	89
Tabela 31 - Desempenho lumínico do apartamento 101 segundo os critérios da norma NBR 15575, segundo a simulação computacional.	95
Tabela 32 - Características da envoltória utilizada na simulação de desempenho térmico do edifício <i>A</i> .	99
Tabela 33 - Análise da relação área de ventilação ( $A_v$ ) dividida pela área de piso ( $A_p$ ) das unidades avaliadas.	101
Tabela 34 - Característica da envoltória das superfícies opacas do edifício <i>B</i> . (88)	103
Tabela 35 - Características térmicas dos sistemas de cobertura. (89)	105
Tabela 36 - Dados da simulação das aberturas para ventilação dos apartamentos finais 1, 4, 12 e 13 do primeiro ao quinto pavimento do edifício <i>B</i> .	106
Tabela 37 - Resultados da situação projetual baseada na simulação de desempenho acústico do edifício <i>A</i> .	109
Tabela 38 - Simulação de desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais externas.	111
Tabela 39 - Adequações em alguns sistemas segundo dados da simulação de desempenho acústico do edifício <i>A</i> .	114
Tabela 40 - Resultados da situação projetual baseada na simulação de desempenho acústico do edifício <i>B</i> .	115
Tabela 41 - Desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais externas do edifício <i>B</i> .	117

Tabela 42 - Resumo das recomendações para melhor desempenho acústico do edifício <i>B</i> .	120
Tabela 43 - Valores da temperatura, em °C, obtidos na simulação computacional e nas medições <i>in loco</i> do edifício <i>A</i> .	126
Tabela 44- Valores da temperatura, em °C, obtidos na simulação computacional e nas medições <i>in loco</i> do edifício <i>B</i> .	127
Tabela 45 - Estratégias e soluções arquitetônicas para melhor desempenho de edifícios com características semelhantes às aqui avaliadas.	133
Tabela 46 - Características técnicas dos materiais da envoltória dos edifícios avaliados.	134
Tabela 47 - Taxa de área de vedação envidraçada (WWR), em %, em apartamentos do edifício <i>A</i> e a temperatura média obtida <i>in loco</i> .	137
Tabela 48 - Taxa de área de vedação envidraçada (WWR), em %, em apartamentos do edifício <i>B</i> e a temperatura média obtida <i>in loco</i> .	137
Tabela 49- Análise comparativa entre dados das medições <i>in loco</i> e das simulações, segundo os critérios da NBR 15575, para os edifícios avaliados.	140
Tabela 50 - Análise comparativa de resultados de desempenho acústico do edifício <i>A</i> .	148
Tabela 51 - Análise comparativa de resultados de desempenho acústico do edifício <i>B</i> .	149

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	16
1.1 Apresentação do tema	16
1.2 Objetivo	18
1.3 Justificativa do tema e apresentação do trabalho	18
<b>CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO</b>	21
2.1 Desempenho ambiental	21
2.2 Norma de desempenho NBR 15575	24
2.2.1 Atualização da NBR 15575	29
2.2.2 Impacto da norma NBR 15575 nos projetos de edificações residenciais	31
2.3 Condições climáticas	32
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</b>	36
3.1 Apresentação	36
3.2 Descrição da metodologia	36
3.3 Estudo de caso	39
3.3.1 Edifício A	40
3.3.2 Edifício B	44
3.4 Condições climáticas	48
3.5 Carta solar dos edifícios avaliados	49
3.6 Medições <i>in loco</i>	54
3.7 Simulação computacional	56
3.7.1 Desempenho térmico	57
3.7.2 Desempenho lumínico	58
3.7.3 Desempenho acústico	60
3.8 Padrões construtivos das edificações	63
<b>CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	65
4.1 Análise comparativa entre dados obtidos <i>in loco</i> e simulações computacionais	65
4.2 Medições <i>in loco</i>	66
4.2.1 Desempenho lumínico	66
4.2.1.1 Edifício A	66
4.2.1.2 Edifício B	69
4.2.2 Desempenho térmico	72
4.2.2.1 Edifício A	73
4.2.2.2 Edifício B	77
4.2.3 Desempenho acústico	80
4.2.3.1 Edifício A	80
4.2.3.2 Edifício B	83
4.3 Simulação computacional	84
4.3.1 Simulação do desempenho lumínico	85
4.3.1.1 Simulação lumínica do edifício A	85

4.3.1.2 Simulação lumínica do edifício <i>B</i>	92
4.3.2 Simulação do desempenho térmico	96
4.3.2.1 Simulação térmica do edifício <i>A</i>	97
4.3.2.2 Simulação térmica do edifício <i>B</i>	102
4.3.3 Simulação do desempenho acústico	108
4.3.3.1 Simulação acústica do edifício <i>A</i>	108
4.3.3.2 Simulação acústica do edifício <i>B</i>	115
4.4 Análise comparativa do desempenho - Simulação computacional e medições <i>in loco</i>	121
4.4.1 Desempenho luminoso	121
4.4.1.1 Simulação luminoso vs medições <i>in loco</i> do edifício <i>A</i>	121
4.4.1.2 Simulação luminoso vs medições <i>in loco</i> do edifício <i>B</i>	124
4.4.2 Desempenho térmico	125
4.4.2.1 Simulação térmica vs medições <i>in loco</i> do edifício <i>A</i>	125
4.4.2.2 Simulação térmica vs medições <i>in loco</i> do edifício <i>B</i>	127
4.4.3 Desempenho acústico	128
4.4.3.1 Simulação acústica vs medição <i>in loco</i> do edifício <i>A</i>	128
4.4.3.2 Simulação acústica vs medição <i>in loco</i> do edifício <i>B</i>	129
4.5 Avaliação geral das edificações	130
4.5.1 Aspectos arquitetônicos	130
4.5.1.1 Análise da taxa de vedação envidraçada (WWR)	136
4.5.2 Desempenho do edifício	138
4.5.2.1 Desempenho luminoso	140
4.5.2.2 Desempenho térmico	142
4.5.2.3 Desempenho acústico	147
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES</b>	<b>150</b>
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>157</b>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 Apresentação do tema

A arquitetura tem caráter atemporal na medida em que relaciona espaço, matéria e tempo. Ao criar memórias que envolvem experiências fundamentais do ser humano, como questões sociais e culturais de uma época, traz à consciência aspectos particulares do indivíduo, que o incitam a realizar uma interpretação final única daquele determinado ambiente. A compreensão completa de um espaço depende da interação de todos os sentidos humanos (Pallasmaa e Salvaterra, 2011).

Ao estabelecer relações com o ambiente, o ser humano apreende o contexto em que se insere através de suas percepções e interações. O cérebro, órgão responsável por assimilar esses estímulos, cria respostas cognitivas necessárias para o bem-estar, a sobrevivência e a adaptação do homem a diferentes situações (Cerutti, 2001). Com o uso de suas ferramentas e estratégias, a arquitetura pode ser capaz de proporcionar um ambiente que seja adequado para o bem-estar do indivíduo.

A crescente busca por qualidade de vida nos ambientes construídos e a importância da sustentabilidade têm impulsionado a valorização do desempenho ambiental nas edificações. Nesse sentido, novas tecnologias e materiais inovadores permitem projetar e construir edificações com melhor desempenho térmico, lumínico e acústico, além de reduzir o consumo de energia e o impacto ambiental (Lamberts, 2015).

Conforme Lamberts (2015), as transformações sociais contemporâneas evidenciam uma crescente valorização do bem-estar humano nos ambientes construídos. Nesse contexto, torna-se fundamental considerar os avanços tecnológicos, as necessidades dos usuários e a eficiência energética dos espaços, já que o uso de novas ferramentas de simulação na concepção de projetos se mostra relevante para que os parâmetros de desempenho ambiental sejam levados em consideração.

O conceito de conforto ambiental tem evoluído nas últimas décadas, impulsionado por avanços tecnológicos e pela crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade e do bem-estar humano. Segundo Strobino (2015), o conforto ambiental se preocupa em como o homem reagirá e enfrentará o ambiente em que se encontra; dessa maneira, faz-se importante considerar seus critérios para nortear o projeto arquitetônico.



A busca por integrar a edificação ao clima e ao ambiente é uma das premissas da arquitetura bioclimática, que visa a criação de espaços mais sustentáveis e eficientes. Utilizando estratégias de projeto que promovam o desempenho ambiental e a eficiência energética, a arquitetura bioclimática contribui para a redução do impacto ambiental das construções, ao mesmo tempo que proporciona maior conforto e bem-estar aos usuários (Levisky e Aguiar, 2020).

A eficiência energética em projetos arquitetônicos pode ser entendida como a capacidade da edificação de proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com o mínimo de consumo energético. Essa busca por soluções eficientes e sustentáveis se mostra cada vez mais relevante no contexto da arquitetura contemporânea, impulsionada pela crescente preocupação com a qualidade de vida nos ambientes construídos e com a redução do impacto ambiental das edificações (Lamberts *et al.*, 2014).

O desempenho ambiental vem sendo amplamente usado e discutido na prática projetual e desde 2008, com a inserção da norma de desempenho, também conhecida como NBR 15575, tem sido ainda mais recorrente, tendo em vista que é na fase projetual que o arquiteto define qual será o desempenho e a eficiência pretendidos para a edificação. A norma define as formas de avaliar os produtos utilizados em obra, estimando os resultados que eles podem oferecer.

Corbella e Yannas (2003) destacam a importância da simulação computacional para a análise do desempenho ambiental, pois permite prever o comportamento da edificação em diferentes condições e auxiliar na tomada de decisões durante o projeto. Os autores ressaltam que a simulação computacional, em conjunto com as medições *in loco*, contribui para a criação de ambientes mais confortáveis e eficientes em termos de consumo de energia.

Schmalfluss *et al.* (2021) avaliaram o desempenho energético de um edifício de escritórios adotando diversas soluções de fachada tendo observado que a simulação computacional permite que os projetistas otimizem as soluções de projeto antecipadamente, alcançando melhor conforto e eficiência energética.

Observa-se que a urbanização exerce múltiplas influências na percepção térmica do edifício construído, incluindo a criação de ilhas de calor, além de alterações no comportamento dos ventos e na incidência de radiação (Romero, 2014). Essas consequências podem impactar significativamente o conforto ambiental nas cidades e a qualidade de vida, posicionando a arquitetura como ferramenta crucial para assegurar condições bioclimáticas favoráveis à população (Katzschner e Thorsson, 2009).

Diante disso, a crescente busca por edificações com melhor desempenho ambiental na construção civil torna relevante a análise da aplicação da norma de desempenho. Esta pesquisa investigou como duas edificações no bairro Noroeste, em Brasília, incorporaram os conceitos e parâmetros da NBR 15575, avaliando seus impactos nos desempenhos acústico, lumínico e térmico. A partir de simulações computacionais realizadas por empresas especializadas e medições *in loco*, os resultados foram comparados, para perceber o que pode ter influenciado o desempenho ambiental dessas edificações e se os requisitos da norma foram atendidos, possibilitando assim a promoção de bem-estar aos usuários.

## **1.2 Objetivo**

O presente estudo analisou, de forma comparativa, dados de medições coletadas *in loco* e simulações computacionais, realizados por empresas especializadas, em relação aos critérios de desempenho térmico, luminoso e acústico estabelecidos pela norma de desempenho, denominada NBR 15575. O estudo avaliou a eficácia das simulações preditivas em relação às decisões de projeto e construtivas, verificando, em dois edifícios localizados em Brasília, quais as principais dificuldades e oportunidades na aplicação da norma, considerando as condições específicas de uso, clima e ocupação.

## **1.3 Justificativa do tema e apresentação do trabalho**

O tema de estudo se vincula à linha de pesquisa selecionada em tecnologia, ambiente e sustentabilidade, por abordar a tecnologia, uma vez que é dela que se percebe a fundo a necessidade de desempenho ambiental e se consegue mensurar os parâmetros de projeto que o envolvem e do ambiente construído, como analisa a essencialidade do desempenho em si.

A presente pesquisa está inserida na lacuna existente sobre o desempenho de edificações em Brasília, focando na análise comparativa do desempenho térmico, lumínico e acústico de dois edifícios residenciais no setor Noroeste. A partir da revisão de pesquisas prévias, como as de Almeida e Silva (2021), Oliveira *et al.* (2021) e Paula *et al.* (2020), que abordam o desempenho em diferentes contextos climáticos e tipológicos, este estudo se destaca pela utilização de dados reais de simulações computacionais cedidas pela construtora e medições *in loco* realizadas com a edificação completa.

A comparação entre dados simulados e medidos em edifícios após a construção, permitiu verificar a eficácia das simulações e das estratégias arquitetônicas utilizadas para otimizar o desempenho das edificações na zona bioclimática 4, da cidade de Brasília. Essa análise pode então contribuir para a evolução e avaliação dos parâmetros que impactam no desempenho ambiental, além de fornecer informações relevantes para o aprimoramento de projetos e a promoção da sustentabilidade em edificações residenciais.

A norma de desempenho para edificações residenciais surge em 2008 como um instrumento para aprimorar o desempenho das edificações habitacionais, ao estabelecer critérios para os aspectos térmico, acústico e lumínico, dentre outros. Essa norma representa então um avanço na busca por maior qualidade e sustentabilidade no setor de construção civil, mas sua aplicação prática demanda estudos e análises aprofundadas, especialmente em diferentes contextos climáticos e construtivos.

A escolha por Brasília se justifica pela peculiaridade do clima e pela significativa produção de edifícios residenciais na cidade. A pesquisa contribuiu para a compreensão da relação entre as exigências da norma e o desempenho real das edificações, além de fornecer subsídios para a melhoria dos projetos e a promoção da qualidade do ambiente construído.

Brasília, com seu clima tropical de savana, caracterizado por duas estações bem definidas e alta incidência solar, apresenta desafios específicos para o conforto ambiental em edificações. A amplitude térmica anual e a baixa umidade relativa do ar exigem a adoção de estratégias bioclimáticas para possibilitar o bem-estar dos usuários e a eficiência energética das edificações (Frota e Schiffer, 2003).

É crucial reconhecer a interdependência entre os desempenhos térmico, acústico e lumínico em projetos de arquitetura. A busca por um bom desempenho térmico, por exemplo, pode influenciar as decisões sobre aberturas e vedações, o que impacta o desempenho acústico e lumínico. Da mesma forma, a otimização da iluminação natural pode afetar o ganho de calor e o desempenho térmico. As soluções de projeto devem, portanto, buscar sinergia entre esses desempenhos, considerando as interações entre as diferentes variáveis e os impactos no conforto e na saúde dos usuários.

A dissertação se estruturou em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema e apresenta a problemática, a justificativa e os objetivos da pesquisa. O segundo capítulo revisa o referencial teórico sobre desempenho ambiental, a norma de desempenho NBR 15575 e o contexto da construção civil em Brasília. O terceiro capítulo detalha a metodologia da pesquisa,

descrevendo os métodos e procedimentos utilizados. O quarto capítulo apresenta os resultados da pesquisa, com a análise dos dados coletados nas simulações e medições, discute os resultados, relacionando-os com o referencial teórico e com outros estudos relevantes. O quinto capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa.

Portanto, a fim de avaliar a precisão da simulação computacional na previsão do desempenho ambiental, o presente estudo comparou os resultados das simulações com dados reais obtidos por meio de medições *in loco*.

## CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

### 2.1 Desempenho ambiental

Atingir o desempenho ambiental dentro do projeto arquitetônico apresenta um desafio aos profissionais da área que buscam harmonia entre diversos critérios e indicadores de conforto e bem-estar. Para tal situação é necessária uma análise cuidadosa das particularidades de cada caso, uma vez que as exigências e prioridades podem variar significativamente de um projeto para outro. Em vista disso, o arquiteto precisa conciliar aspectos como funcionalidade, estética, sustentabilidade e conforto, por exemplo, para alcançar a melhor solução do conjunto (Kowaltowski e Labaki, 1993).

Observa-se que os projetistas têm cada vez mais inserido em sua prática projetual e no processo de criação os parâmetros de desempenho ambiental, estabelecendo-os como parte da metodologia e partido de projeto. Assim, indicadores como o dimensionamento de aberturas, localização, especificação de materiais e tipo de vedação se tornam critérios relevantes (Lamberts *et al.*, 2014).

Brito e Ferreira (2021) apresentam um panorama das principais inovações na área de materiais de construção, com foco na sustentabilidade e no desempenho ambiental. Os autores destacam o papel da tecnologia na criação de soluções construtivas mais eficientes e com menor impacto ambiental, como os sistemas de fachada modular pré-fabricados, que permitem a melhoria do desempenho térmico, luminoso e acústico das edificações, além de reduzir o tempo de construção e os custos.

Sorgato *et al.* (2014) destacam que a NBR 15575 representa um avanço na busca por edificações mais eficientes e sustentáveis, o que estimula a inovação tecnológica e a melhoria da qualidade do ambiente construído. Nesse sentido, a utilização de ferramentas de simulação computacional se torna cada vez mais comum na análise do desempenho ambiental de edificações.

Souza *et al.* (2020), em estudo realizado em Brasília, avaliaram a propagação do som em uma escola tendo observado a importância da simulação computacional para auxiliar na tomada de decisões para o controle de ruído.

Além disso, com o aumento da competitividade no mercado da construção civil na década de 1990, as empresas de construção civil buscaram se destacar no mercado com a priorização dos preços e o prazo de entrega em detrimento da qualidade. Como resultado, houve um movimento significativo em direção à racionalização do processo produtivo com o objetivo

de aumentar a produtividade e reduzir os custos. No entanto, os requisitos essenciais de desempenho frequentemente não eram observados nos projetos e na construção de edifícios (Sabbatini, 2002).

Nesse cenário de busca por melhorias na qualidade das habitações, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), publicou, em meados da década de 1990, diretrizes para a formulação de normas de desempenho, estabelecendo critérios mínimos de qualidade para habitações de interesse social. O objetivo era garantir um nível mínimo de qualidade nessas edificações.

A gestão da qualidade na construção civil pode ser compreendida como um conjunto de práticas e ferramentas que visa garantir a excelência em todas as etapas de um projeto, desde o planejamento até a entrega final. Ao implementar um sistema de gestão da qualidade, as construtoras podem assegurar que as obras sejam entregues dentro do prazo, com a qualidade esperada e atendendo às necessidades dos clientes, inclusive com a observância do que é solicitado em normas, como a NBR 15575.

No final da década de 1990, as empresas que começaram a implementar tais processos de gestão da qualidade se destacaram. A qualidade do produto final melhorou como resultado da qualidade inerente à remodelagem de processos e atividades produtivas. A qualidade na gestão e na produção passou a ser valorizada e reconhecida pelos clientes finais como um diferencial corporativo. Desde então, surgiu a tendência de desenvolvimento de edificações que se opõe à cultura de redução de custos a todo custo, priorizando a qualidade e o desempenho (Formoso *et al.*, 2002).

Além das questões relacionadas à gestão da qualidade e ao desempenho das edificações, outro fator a ser considerado é o clima, que está em aquecimento, seja pelas mudanças climáticas globais, seja pelo fenômeno da ilha de calor ou pela intensificação da urbanização. É possível observar que tudo isso influencia fortemente no desempenho térmico do ambiente construído. O clima externo é primordial para o desempenho térmico de ambientes construídos onde temperaturas externas mais altas, além de resultarem em temperaturas internas também mais elevadas, farão com que uma das principais estratégias passivas para a remoção de carga térmica interna, a ventilação, perca eficiência (Alves, 2019).

A ilha de calor urbana pode ser positiva em períodos com temperaturas mais amenas, com a elevação das mínimas noturnas e consequente redução das amplitudes térmicas diárias, por elevar as temperaturas do ar externo justamente quando ocorre desconforto por frio. Por

outro lado, nos períodos mais quentes, reduz a efetividade da ventilação noturna no resfriamento do ambiente interno e, em última instância, em um clima com temperaturas médias em elevação, pode significar um sobreaquecimento indesejável (Alves, 2019).

Outro efeito esperado da intensificação da urbanização é o aumento do sombreamento devido à verticalização e a proximidade de edifícios no entorno. Verifica-se que, assim como os brises, também se trata de um elemento sombreador, porém, tende a sombrear as primeiras e as últimas horas do dia ou o período do inverno, quando a temperatura é mais amena. Nos períodos mais quentes o edifício continua totalmente exposto à radiação solar direta (Alves, 2019).

Para compreender melhor a relação entre conforto e desempenho, é preciso analisar cada conceito individualmente. O desempenho se refere à busca por ambientes construídos que promovam o bem-estar humano e exige uma análise cuidadosa da relação entre desempenho e conforto. Embora muitas vezes utilizados como sinônimos, esses conceitos apresentam nuances importantes que devem ser consideradas no projeto e na avaliação de edificações.

O desempenho se refere ao comportamento técnico e funcional da edificação e de seus sistemas, podendo ser quantificado e medido por meio de parâmetros objetivos. Normas como a NBR 15575, estabelece critérios mínimos para o desempenho de diversos sistemas, como o estrutural, e hidrossanitário, o elétrico e os relacionados ao desempenho ambiental (térmico, acústico e lumínico).

Embora a norma NBR 15575 apresente condições mínimas de desempenho, é importante lembrar que diversos fatores influenciam na percepção, sendo está subjetiva para o usuário, pois inclui aspectos físicos, psicológicos, sociais e culturais. Portanto, atender aos requisitos de desempenho não significa, necessariamente, garantir o conforto (Mascaró, 2012).

Lamberts *et al.* (2014) afirmam que o conforto é um conceito complexo que depende de vários fatores, sejam individuais como idade, gênero, estado de saúde e preferências pessoais; culturais como hábitos, valores e crenças; sociais como interação social, privacidade, status; ou psicológicos como humor, expectativas e associações.

A compreensão dos critérios de desempenho é essencial na busca por edificações mais eficientes. Com base nesse contexto de desempenho, a presente pesquisa aborda o desempenho térmico, luminoso e acústico de edificações considerando os parâmetros estabelecidos na NBR 15575 e compara os dados obtidos por simulação computacional que foram cedidos pela construtora e medições *in loco*.

Ferreira e Carlo (2023) avaliaram a aplicação de experimentos fatoriais para a definição de zonas bioclimáticas a partir do conforto térmico e analisaram a influência de diferentes variáveis no desempenho térmico de edificações em diversas regiões do Brasil. Eles concluíram que a absorvância solar da envoltória, a transmitância térmica das coberturas e a ventilação são as variáveis mais importantes para o conforto térmico, e que a definição de zonas bioclimáticas deve considerar as particularidades de cada região, o que reforça a importância de se analisar o desempenho térmico de edificações em diferentes contextos climáticos.

Silva *et al.* (2023) aprofundaram a análise do desempenho térmico em um contexto climático específico de Brasília utilizando simulações computacionais e medições em campo para avaliar o impacto da ventilação natural. Os resultados indicam que a ventilação cruzada pode reduzir significativamente a temperatura interna dos ambientes, especialmente durante os períodos de seca, o que reforçou a importância de considerar as estratégias de ventilação natural como a posição das aberturas e da geometria dos ambientes.

Santos (2022) e Durante *et al.* (2020) avaliaram soluções construtivas para o conforto ambiental em edifícios utilizando simulações computacionais e seus resultados indicaram a importância da orientação solar e de elementos de proteção solar.

Yang e Li (2023) em sua avaliação do desempenho de um sistema de fachada modular pré-fabricado demonstraram que o sistema apresenta vantagens em termos de desempenho térmico, lumínico e acústico, em relação aos sistemas tradicionais, além de reduzir o tempo de construção e os custos de produção.

## **2.2 Norma de desempenho NBR 15575**

Em 2008, a NBR 15575, foi publicada pela primeira vez e configurou um marco significativo na indústria da construção civil. Esta norma, que foi desenvolvida com base nas necessidades dos usuários de edifícios residenciais, consolidou e referenciou as exigências de várias normas existentes, como a NBR 10151 e a NBR 10152, além de introduzir novos conceitos e questões. O objetivo dela era estabelecer parâmetros e critérios de desempenho que abrangessem aspectos de habitabilidade, sustentabilidade e segurança.

A norma é abrangente e considera o edifício durante todo o seu ciclo de vida, além de estabelecer critérios e requisitos de desempenho, bem como métodos de avaliação, destacando a importância de atender às necessidades dos usuários desde as primeiras etapas de concepção do projeto (Oliveira, 2016).



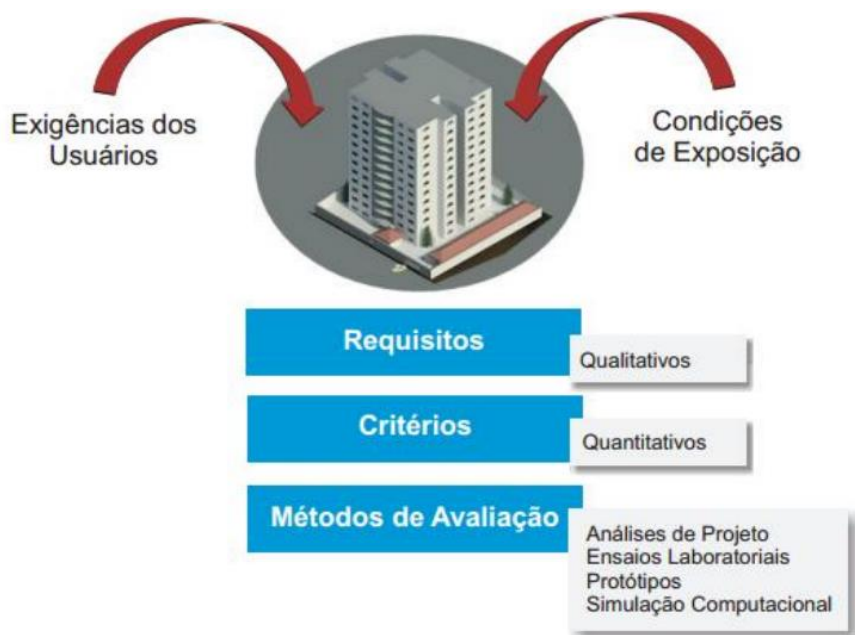
O desempenho de um edifício, de acordo com a norma, pode ser entendido como seu comportamento ao longo do tempo e sob certas condições de uso e tornou-se um ponto importante para todos os participantes da cadeia produtiva da construção civil, levando a mobilização em todo o setor para se adaptar a essa nova realidade.

O cumprimento da norma de desempenho implica em várias vantagens. Além dos aspectos ambientais e do atendimento aos usuários, a aplicação do conceito de desempenho também pode ser considerada uma boa oportunidade para a melhoria da qualidade das habitações brasileiras e para a otimização dos recursos governamentais, tendo em vista que a aplicação do conceito exige uma visão de longo prazo (Kern *et al.*, 2014).

A vida útil de um edifício está diretamente relacionada ao período de tempo estimado para o qual ele e seus componentes são projetados para funcionar adequadamente. Segundo a norma de desempenho, esse tempo é definido como o período de tempo estimado para o qual um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes são projetados a fim de atender às atividades para as quais foram projetados e construídos. Para garantir essa vida útil, dois fatores são essenciais, o atendimento aos níveis de desempenho previstos e a realização correta e periódica dos processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção.

A Figura 1 ilustra a estrutura da norma de desempenho, que busca atender às exigências dos usuários em relação ao desempenho das edificações, considerando as condições de exposição a que elas estão sujeitas. Para isso, a norma define requisitos qualitativos e critérios quantitativos para diversos sistemas construtivos, como estrutura, pisos, vedações e coberturas. A avaliação do desempenho pode ser feita por meio de métodos de análise de projeto, ensaios laboratoriais, protótipos e simulação computacional, o que possibilita que a edificação atenda às expectativas dos usuários em termos de segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Figura 1 - Relação entre as exigências dos usuários, as condições de exposição e os métodos de avaliação da NBR 15575.



Fonte: Asbea (2015).

O presente estudo teve foco em três dos parâmetros estabelecidos pela NBR 15575: desempenho lumínico, acústico e térmico. A análise desses parâmetros se torna fundamental para a compreensão de como o projeto arquitetônico pode influenciar a iluminação natural, o desempenho acústico e a temperatura interna dos ambientes, impactando diretamente a experiência e a saúde dos usuários. A investigação desses três aspectos, de forma integrada, pode contribuir para a criação de espaços mais eficientes, saudáveis e sustentáveis.

A ausência de desempenho acústico, por exemplo, nos edifícios residenciais pode ter impactos significativos na vida dos moradores que podem ter sua privacidade prejudicada. Estudos na área de psicologia ambiental, demonstram que tal situação pode afetar as relações interpessoais e o bem-estar emocional dos habitantes, restringindo a liberdade de expressão e o desenvolvimento de atividades cotidianas dentro do próprio lar (Strobino, 2015).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros estabelecidos pela norma no aspecto acústico, quanto ao critério de desempenho, nível mínimo, nível intermediário e nível superior.

Tabela 1 - Requisitos para desempenho acústico da norma NBR 15575.

Elemento Construtivo	Critério de Desempenho	Nível Mínimo	Nível Intermediário	Nível Superior
Paredes internas (entre unidades autônomas)	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw \geq 45 \text{ dB}$	$DnTw \geq 50 \text{ dB}$	$DnTw \geq 55 \text{ dB}$
Paredes internas (entre unidades autônomas e áreas comuns)	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw \geq 45 \text{ dB}$	$DnTw \geq 50 \text{ dB}$	$DnTw \geq 55 \text{ dB}$
Conjunto de paredes e portas (entre unidades autônomas)	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw \geq 45 \text{ dB}$	$DnTw \geq 50 \text{ dB}$	$DnTw \geq 55 \text{ dB}$
Pisos (entre unidades autônomas)	Isolamento a ruído de impacto	$LnTw \leq 75 \text{ dB}$	$LnTw \leq 65 \text{ dB}$	$LnTw \leq 55 \text{ dB}$
Pisos (entre unidades autônomas e áreas comuns)	Isolamento a ruído de impacto	$LnTw \leq 75 \text{ dB}$	$LnTw \leq 65 \text{ dB}$	$LnTw \leq 55 \text{ dB}$
Fachada (dormitórios)	Isolamento a ruído aéreo de fachada	$DnTw + Ctr \geq 30 \text{ dB}$	$DnTw + Ctr \geq 35 \text{ dB}$	$DnTw + Ctr \geq 40 \text{ dB}$

**Legenda:**

DnTw: Índice de redução sonora ponderado. Quanto maior o valor, melhor o isolamento acústico.

LnTw: Nível de pressão sonora de impacto padronizado. Quanto menor o valor, melhor o isolamento acústico.

Ctr: Termo de adaptação para o espectro do ruído de tráfego.

Fonte: NBR 15575 (2022).

Para o clima de Brasília, caracterizado por um longo período com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar, impõe-se a necessidade frequente de ventilação natural nos ambientes internos. A abertura das esquadrias, medida essencial para garantir o desempenho térmico, acarreta, por sua vez, a intensificação da exposição das edificações a ruídos externos, comprometendo o isolamento acústico e interferindo também na entrada da iluminação natural (Frota e Schiffer, 2009).

A Tabela 2 apresenta os principais requisitos da norma em relação ao desempenho térmico, com foco em parâmetros como temperatura interna do ar, transmitância térmica da envoltória e capacidade térmica. O atendimento a esses requisitos contribui para a criação de ambientes internos mais agradáveis e com menor consumo de energia.

Tabela 2 - Requisitos de desempenho térmico para unidades residenciais segundo a norma de desempenho.

Parâmetro	Nível de Desempenho	Descrição
<b>Temperatura do ar interno - Verão</b>	Mínimo	A temperatura interna máxima não deve exceder a temperatura máxima externa.
<b>Intermediário</b>	A temperatura interna máxima deve ser inferior à externa em pelo menos 2°C.	
<b>Superior</b>	A temperatura interna máxima deve ser inferior à externa em pelo menos 4°C.	
<b>Temperatura do ar interno - Inverno</b>	Mínimo	A temperatura interna mínima deve ser superior à externa em pelo menos 3°C.
<b>Intermediário</b>	A temperatura interna mínima deve ser superior à externa em pelo menos 5°C.	
<b>Superior</b>	A temperatura interna mínima deve ser superior à externa em pelo menos 7°C.	
<b>Transmitância térmica da envoltória</b>	Mínimo	Depende da zona bioclimática
<b>Capacidade térmica da envoltória</b>	Mínimo	Depende da zona bioclimática
<b>Área de aberturas para ventilação</b>	Mínimo	5% da área do piso do ambiente, sendo no mínimo 1,5 m <sup>2</sup> .
<b>Proteção solar</b>	Recomendado	Utilizar protetores solares externos (brises, toldos, vegetação) para reduzir a incidência solar direta nas fachadas.

Fonte: NBR 15575 (2022).

O desempenho lumínico é alcançado quando se tem a iluminação adequada para a realização das tarefas principais do ambiente. Os aspectos que influenciam o desempenho lumínico nas unidades habitacionais são o tamanho das esquadrias, radiação solar incidente sobre as aberturas, nebulosidade do tempo, construções circundantes que podem fazer sombra e outros que estão ligados a variáveis como, por exemplo, a cor e transmitância luminosa do vidro.

A Tabela 3 apresenta os valores de iluminância estabelecidos pela NBR 15575 de acordo com a dependência, em lux, para cada ambiente.

Tabela 3 - Requisitos de desempenho lumínico para unidades residenciais segundo a norma de desempenho NBR 15575.

Dependência	Iluminância geral para o nível mínimo de desempenho (lux)
Sala de Estar Dormitório Copa/Cozinha Banheiro Área de Serviço	≥ 60
Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum - prédios Escadaria de uso comum - prédios Garagens/estacionamentos	Não exigido
Nota 1: Para os edifícios multipiso, admitem-se para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua níveis de iluminação ligeiramente inferiores aos valores especificados nesta Tabela - diferença máxima de 20% em qualquer dependência	

Fonte: NBR 15575 (2022).

### 2.2.1 Atualização da NBR 15575

A norma de desempenho passou por atualizações significativas em 2021, sendo a versão mais recente publicada em 2022, cancelando as anteriores, com exceção da NBR 15575-2, de 2013, que trata dos requisitos para os sistemas estruturais, que permanece válida.

A revisão da norma trouxe um aprimoramento significativo nos parâmetros de desempenho térmico, o que confere maior fundamentação e confiabilidade aos resultados das avaliações. Nesse cenário, a simulação computacional se consolida como um dos mecanismos mais completos para a análise do desempenho térmico de edificações. No entanto, a complexidade do processo, com suas diversas etapas para modelar a unidade habitacional, exige do responsável pela simulação um sólido preparo técnico e uma compreensão profunda dos princípios envolvidos, garantindo a precisão e a fidedignidade dos resultados obtidos.

As principais mudanças no desempenho térmico podem ser pontuadas, como os critérios mais rigorosos para o desempenho térmico da envoltória da edificação (paredes, pisos, coberturas, esquadrias), visando reduzir a transmissão de calor e melhorar a eficiência energética. A versão de 2013 já estabelecia critérios para o desempenho térmico, mas a versão publicada em 2022 trouxe requisitos mais específicos.

A norma de desempenho considera as diferentes zonas bioclimáticas do Brasil, definindo requisitos específicos para cada região, de acordo com suas características climáticas. A norma de 2013 não diferenciava as exigências de desempenho térmico por zonas bioclimáticas e adotava uma abordagem mais generalizada para todo o país. Essa mudança foi importante para garantir que as edificações atendam às necessidades de desempenho térmico de cada região.

A principal mudança está relacionada à transmitância térmica da envoltória da edificação, que agora possui limites específicos para cada zona bioclimática. Para ilustrar essa diferença, pode-se comparar as regiões Norte e Nordeste. Enquanto o Norte se caracteriza por um clima quente e úmido com temperaturas e umidade elevadas durante todo o ano, o Nordeste apresenta maior variabilidade climática, com áreas de clima semiárido e outras de clima tropical úmido. Devido a essas diferenças, a nova versão da norma de desempenho estabelece limites mais restritivos para a região Norte, exigindo o uso de materiais com maior resistência térmica para evitar o ganho excessivo de calor.

Como exemplo, pode-se observar que a transmitância térmica máxima permitida para paredes externas em uma edificação na zona bioclimática 1 (norte) é de  $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , enquanto na zona bioclimática 6 (nordeste) esse limite é de  $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Essa diferença ressalta a importância de adaptar o projeto da edificação às condições climáticas de cada região, utilizando materiais e técnicas construtivas que garantam o conforto térmico e a eficiência energética. Em suma, a atualização da NBR 15575 representa um passo importante na busca por edificações mais sustentáveis e adequadas às necessidades de cada região do Brasil.

Em regiões mais quentes, a norma de desempenho passou a exigir o uso de materiais com maior resistência térmica, como blocos cerâmicos com isolamento térmico incorporado, painéis sanduíche com núcleo isolante ou sistemas de fachada ventilada, além de incentivar o uso de protetores solares externos, como brises, pergolados e vegetação, para reduzir a incidência de radiação solar direta nas fachadas.

O uso de ferramentas de simulação computacional também é recomendado para avaliar o desempenho da edificação ainda na fase de projeto, o que permite identificar e corrigir problemas antes da construção. Embora a simulação computacional já fosse utilizada em 2013, a sua última versão incentiva mais fortemente como ferramenta para avaliação ainda em fase de projeto.

A exigência de simulação computacional também impacta a prática dos projetistas, que precisam utilizar softwares específicos para avaliar o desempenho da edificação e otimizar a escolha de materiais e técnicas construtivas, além de buscar o melhor equilíbrio entre desempenho, eficiência energética e custo.

Na prática, as edificações construídas ou reformadas de acordo com a NBR 15575, de 2022, tendem a apresentar ambientes internos com temperaturas mais agradáveis, tanto no verão quanto no inverno, o que reduz a necessidade de uso de sistemas de climatização artificial e do consumo de energia para aquecimento ou resfriamento dos ambientes. Isso resulta em maior economia na conta de luz e menor impacto ambiental, bem como maior valorização do imóvel.

### **2.2.2 Impacto da norma NBR 15575 nos projetos de edificações residenciais**

Atingir o desempenho ideal em edificações exige a colaboração de todos os participantes da construção. Entretanto, diversos obstáculos dificultam esse processo, como falhas de comunicação, dificuldade em compreender as necessidades dos usuários, problemas de gestão, resistência a normas técnicas, visão limitada dos processos, atraso tecnológico e priorização do baixo custo em detrimento da qualidade (Tchechov e Corrêa, 2017).

O processo de projeto, em sua essência, envolve a interação entre diversos participantes, cada um com suas perspectivas e necessidades. Kern *et al.* (2014) destacam a importância da colaboração entre empreendedores, projetistas, construtores e usuários para o sucesso do empreendimento. Os autores ressaltam que a comunicação e a troca de informações entre esses atores é fundamental para garantir que o projeto atenda às expectativas e resulte em uma edificação de qualidade.

Rodrigues *et al.* (2021) observaram que a qualidade do projeto e a gestão dos recursos são essenciais para o sucesso do empreendimento, sendo está ligada ao cumprimento dos requisitos de desempenho, relacionado às expectativas dos usuários.

O novo contexto da construção civil então, caracterizado pela crescente demanda por edifícios com maior desempenho e qualidade, tem exigido das empresas do setor a adaptação a novos padrões. A necessidade em atender a esses requisitos tem gerado um aumento nos custos de projetos e execução das obras por precisarem de consultorias de escritórios especializados.

A realização de simulações computacionais preditivas é importante para direcionar decisões de projeto, componentes e sistemas construtivos, levando a reformulação de etapas ainda na fase inicial, levando a melhor desempenho e evitando custo de retrabalho.

Diante do exposto, a norma de desempenho tem exercido influência significativa no processo de projeto de edificações e impulsiona a busca por maior qualidade ao estabelecer critérios mínimos para diversos aspectos, como o térmico, acústico e lumínico, o que estimula os projetistas a considerarem as necessidades dos usuários e as particularidades do clima local desde as etapas iniciais do projeto.

Essa mudança de paradigma contribui para a criação de edifícios mais eficientes, confortáveis e sustentáveis e reduzem o impacto ambiental. A norma também estimula a inovação tecnológica por parte das construtoras e a busca por soluções construtivas mais eficientes, impulsionando o desenvolvimento do setor da construção civil.

### **2.3 Condições climáticas**

Brasília, com seu clima tropical de savana, isto é, inverno seco e verão com forte presença de chuvas, apresenta características climáticas desafiadoras que exigem atenção no projeto de edificações para possibilitar o melhor conforto dos ocupantes. A alta incidência solar, especialmente nos meses de seca, pode superaquecer as edificações, comprometendo o desempenho térmico. Outro desafio do clima local é a baixa umidade relativa do ar, principalmente no inverno, que pode causar desconforto respiratório e ressecamento da pele. Isso impacta diretamente no desempenho térmico do edifício.

Avaliar estratégias de sombreamento, como brises, pergolados e vegetação, além da escolha correta de materiais e cores para as fachadas e coberturas é fundamental para alcançar o desempenho necessário, segundo os critérios definidos pela NBR 15575.

A grande amplitude térmica diária de Brasília exige que as edificações se adaptem às variações de temperatura, possibilitando maior desempenho tanto durante o dia quanto à noite. O uso de materiais com alta inércia térmica, como o tijolo cerâmico maciço e o bloco de concreto, pode auxiliar na regulação da temperatura interna (Lamberts *et al.*, 1997).

Apesar dos desafios, o clima de Brasília também oferece oportunidades para o projeto de edificações mais sustentáveis e confortáveis. A predominância de ventos na região permite o uso da ventilação natural como estratégia de resfriamento passivo, reduzindo a dependência



de sistemas de climatização artificial. Para otimizar a ventilação natural, o projeto deve considerar a orientação da edificação, o dimensionamento e a disposição das aberturas, e o uso de elementos como cobogós e venezianas (Frota e Schiffer, 2003).

A alta incidência solar também pode ser aproveitada para aquecimento de água e geração de energia fotovoltaica, o que reduz o consumo de energia e os impactos ambientais. Por fim, a integração da edificação com a paisagem, utilizando árvores, arbustos e jardins, pode contribuir para a criação de microclimas mais agradáveis e para a redução do impacto da radiação solar (Givoni, 1992).

A busca por edificações mais eficientes e confortáveis em Brasília, especialmente diante dos desafios impostos pelo clima seco e quente, exige uma compreensão das nuances climáticas locais e a exploração de soluções inovadoras. Nesse sentido, pesquisas recentes como a de Silva *et al.* (2023) fornecem dados valiosos sobre o impacto da ventilação natural cruzada no desempenho térmico de edifícios residenciais, especialmente durante os períodos de seca, tão característicos do clima brasiliense. Fica então evidenciada a importância em se considerar as particularidades do clima local no processo de projeto, para buscar soluções que otimizem o aproveitamento da ventilação natural e minimizem o desconforto dos usuários.

Silva *et al.* (2022) avaliou o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares em Florianópolis através de simulação computacional utilizando o software *EnergyPlus* para simular diferentes cenários e configurações para investigar a influência de variáveis como a orientação solar, a ventilação natural, os materiais de construção e o tipo de cobertura no desempenho térmico das edificações. Seus resultados demonstram a importância da escolha adequada de materiais e estratégias de projeto para o desempenho térmico em climas quentes e úmidos, além de demonstrar a efetividade da simulação computacional.

Oliveira *et al.* (2021) analisa o desempenho lumínico de edifícios de escritório em São Paulo e seus resultados demonstram a importância da integração entre a iluminação natural e artificial para o desempenho e a produtividade dos usuários, além de evidenciar a influência da geometria dos ambientes e da posição das janelas na distribuição da luz natural.

Paula *et al.* (2020) investiga o desempenho acústico em uma escola pública do Distrito Federal utilizando o software Insul através de simulações e medições *in loco* para avaliar os níveis de ruído em diferentes ambientes, considerando diferentes materiais e sistemas construtivos. Seus resultados demonstram a importância do planejamento acústico na fase de projeto e a necessidade de considerar as fontes de ruído internas e externas à edificação.

Silva *et al.* (2023) avaliaram o desempenho térmico e lumínico de dois edifícios residenciais multifamiliares em Florianópolis, um com fachada convencional e outro com fachada ventilada. Os autores observaram que o edifício com fachada ventilada apresentou melhor desempenho térmico, com temperaturas internas mais amenas e menor consumo de energia para climatização; em relação ao desempenho lumínico, ambos os edifícios apresentaram boa iluminação natural, mas o edifício com fachada convencional apresentou maior uniformidade na distribuição da luz.

Santos e Ferreira (2022) utilizaram a simulação computacional para avaliar o desempenho de um edifício comercial em Brasília, considerando o impacto de diferentes variáveis de projeto, como a orientação solar, a envoltória do edifício e os sistemas de climatização. Os resultados identificaram soluções de projeto mais eficientes, com redução do consumo de energia e melhoria do conforto ambiental.

As exigências da NBR 15575 e de outros códigos de edificações em relação ao isolamento acústico em edificações residenciais foram avaliadas por Almeida e Silva (2021). O estudo discute os desafios na aplicação dessas normas na prática e apontam para a necessidade de revisão e atualização dos códigos edilícios, a fim de possibilitar o desempenho acústico nas edificações residenciais.

Oliveira (2016) analisa o desempenho ambiental na biblioteca e no restaurante universitário da Universidade de Brasília, combinando análise de projetos, medições e questionários. Os resultados indicaram bom desempenho acústico e lumínico na biblioteca, enquanto o restaurante apresentou problemas de ruído excessivo e iluminação inadequada, sendo constatado adequado o desempenho térmico em ambos edifícios.

Figueiredo e Borges (2022) avaliaram a eficiência energética de quiosques construídos com chapas de aço de containers em Brasília, utilizando simulações computacionais. Os resultados apontaram a importância de estratégias para melhorar a baixa eficiência térmica do aço, sendo recomendado o uso de cobertura adicional e paredes em gesso acartonado com isolamento em lã de rocha para melhor eficiência dos quiosques, bem como a incorporação de variáveis ambientais como formas, cores e iluminação confortáveis.

Donato e Braga (2018) avaliaram o desempenho térmico em três empreendimentos residenciais no Mato Grosso, sendo observado que deve-se contabilizar a abertura efetiva para ventilação, onde é necessário descontar os caixilhos e obstruções que impedem a livre

circulação do ar, tendo obtido melhor desempenho térmico no edifício com percentual de abertura acima de 40% e área de ventilação acima de 7,8%.

Estudos nacionais como Dutra e Pereira (2014), Sorgato *et al.* (2014), Machado (2017) ou internacionais como Chilton e Grabosky (2018) investigam o desempenho de edificações, contudo, em Brasília, considerada patrimônio mundial da UNESCO, ainda existem lacunas nesse tema. A cidade possui características únicas devido ao seu plano urbanístico modernista e às particularidades climáticas e ambientais do Planalto Central. Esses fatores geram desafios específicos no que diz respeito ao desempenho e eficiência energética das edificações implantadas na cidade e a durabilidade dos materiais frente ao clima seco e aos períodos de chuva intensos.

Nesse sentido, o presente estudo trata de uma avaliação de desempenho térmico, luminoso e acústico de edificações construídas no mais novo bairro da cidade, denominado setor Noroeste, pertencente ao plano urbanístico de Brasília e seus desafios para alcançar as soluções adequadas de projeto e de escolha de materiais construtivos, através de uma análise comparativa entre dados de simulação computacional realizados por empresas especializadas e medições *in loco*.

A maioria das pesquisas utilizadas como referência se concentra em regiões de clima mais úmido e em contextos urbanos mais tradicionais, além disso, dados reais, obtidos do acervo de empresas construtoras são bem restritos. Explorar esse tema se torna essencial para auxiliar na promoção de soluções adaptadas ao contexto da cidade, tornando os novos projetos mais adequados em aspectos relacionados às condições da cidade.

## CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

### 3.1 Apresentação

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para analisar o desempenho ambiental de dois edifícios residenciais em Brasília, no bairro Noroeste, e combina dados de simulações computacionais obtidas de relatórios técnicos realizados por empresas especializadas com medições *in loco*. Os dados das simulações e da materialidade das edificações foram fornecidos pela empresa incorporadora.

A pesquisa é exploratória e descritiva, operacionalizada na forma de estudo de caso. Inicialmente, são detalhados os procedimentos para a coleta de dados, incluindo a seleção dos edifícios, a realização das simulações e as medições no local. Posteriormente, serão descritos os métodos de análise dos dados, com a comparação entre os resultados das simulações e das medições com a norma de desempenho.

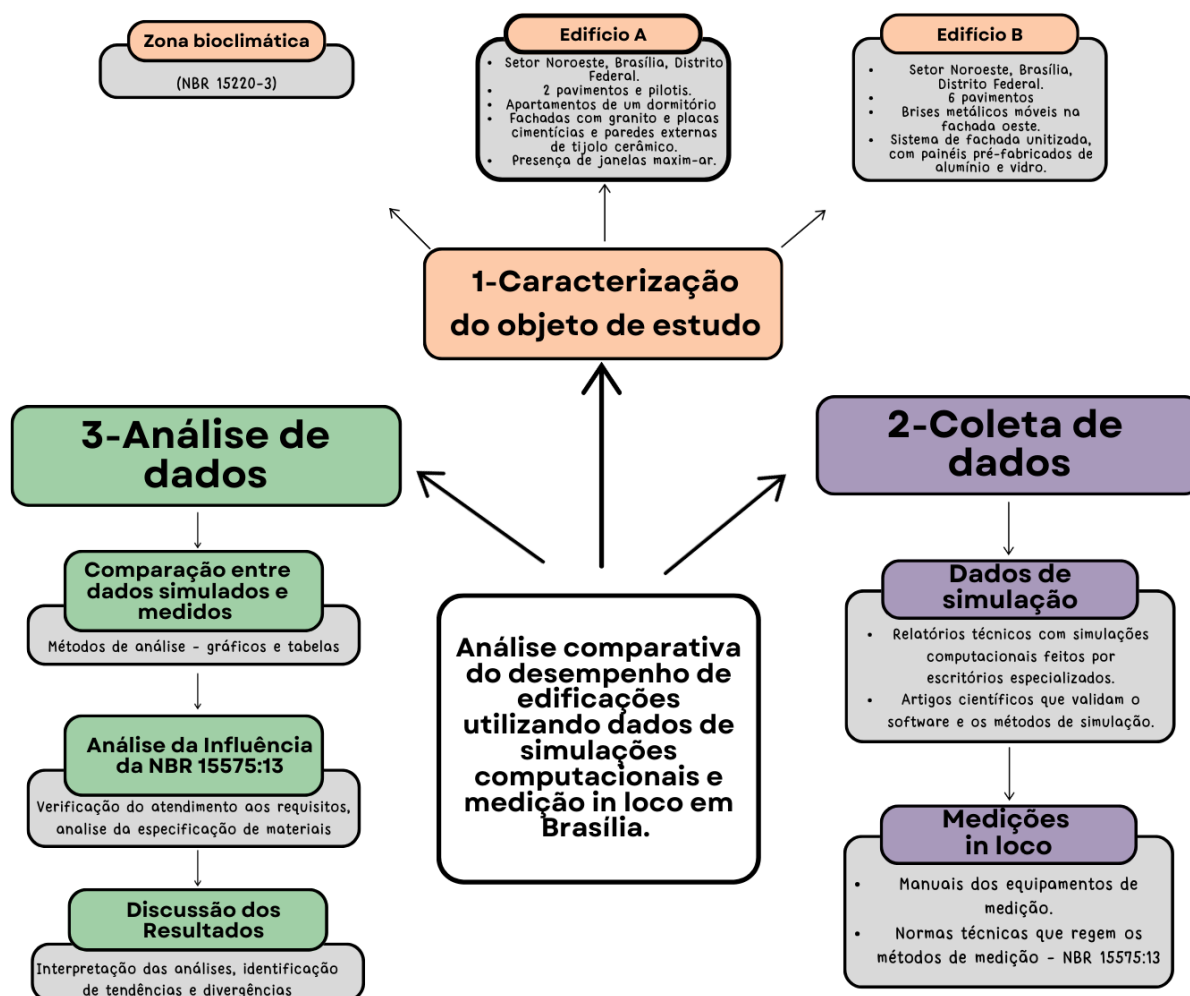
A fim de atingir os objetivos propostos, a pesquisa se estrutura em uma abordagem quali-quantitativa, combinando a análise de dados numéricos com a observação de características qualitativas dos edifícios. A combinação de simulações computacionais e medições *in loco* permitiu uma análise abrangente do desempenho ambiental, considerando tanto as condições de projeto quanto o comportamento real dos edifícios, assim que terminada a obra.

Vale ressaltar que esta pesquisa se baseia nos requisitos da versão de 2013 da norma de desempenho, pois era a vigente durante a elaboração dos projetos iniciais das edificações estudadas.

### 3.2 Descrição da metodologia

A fim de ilustrar de forma clara e concisa o percurso metodológico percorrido nesta pesquisa, elaborou-se o mapa mental apresentado na Figura 2. Este mapa visualiza as etapas da pesquisa e as conexões entre elas, desde a caracterização dos objetos de estudo até a análise dos dados. A estrutura do mapa permite compreender o fluxo da pesquisa e a interdependência entre as diferentes fases, evidenciando a construção do conhecimento de forma organizada.

Figura 2 - Metodologia esquematizada da presente pesquisa.



O estudo analisou, de forma comparativa, dados de simulações computacionais com medições obtidas *in loco* em edifícios na cidade de Brasília, verificando os desafios da implementação da NBR 15575 na fase de projeto e construção, baseada na metodologia proposta por Oliveira (2016).

Na etapa de simulação computacional, os dados foram obtidos diretamente na construtora, que contratou escritórios especializados para realizar as simulações de desempenho térmico, lumínico e acústico. Esses escritórios utilizaram softwares específicos e modelos computacionais detalhados para prever o desempenho dos edifícios em diferentes condições. As simulações foram realizadas com base nos projetos arquitetônicos, nas características dos materiais e nas condições climáticas de Brasília. Os resultados das simulações foram fornecidos em relatórios técnicos detalhados, que incluíam informações sobre os parâmetros de desempenho.

É fundamental destacar que a confiabilidade dos dados de simulação depende da qualidade do modelo computacional e da expertise do profissional que o elaborou (Corbella e Yannas, 2003).

Em paralelo, as medições *in loco* foram coletadas após a conclusão da obra, ainda sem ocupação dos edifícios, utilizando equipamentos de medição calibrados para coletar dados sobre o desempenho real. As medições foram realizadas em diferentes pontos dos edifícios, em diferentes horários e dias, para capturar as variações de desempenho ao longo do tempo. Essa combinação de dados de simulação e medições *in loco* permitiu uma análise abrangente do desempenho ambiental das edificações, considerando tanto as previsões do projeto quanto o comportamento real.

A seleção dos edifícios para a pesquisa se baseou em critérios como o ano de construção, a tipologia e os sistemas construtivos. Ambos os edifícios foram construídos após a publicação da NBR 15575, o que permite avaliar a sua aplicação em projetos recentes. As diferentes tipologias e sistemas construtivos possibilitaram a análise do desempenho em diversas configurações e a avaliação da influência dos materiais e técnicas construtivas nos resultados obtidos.

A coleta de dados ocorreu em duas etapas, primeiro com simulações computacionais e após com medições *in loco*. As simulações computacionais utilizaram três diferentes softwares, a escolha de cada um se justifica por sua utilização na área, como demonstrado em estudos de caso de Corbella e Yannas (2003), e por suas capacidades em simular diferentes cenários e variáveis, o que permite uma análise detalhada do desempenho para diferentes cenários. As simulações consideraram as características dos materiais, as dimensões dos ambientes e as condições climáticas de Brasília.

Na segunda etapa, foram realizadas medições *in loco* do desempenho lumínico, térmico e acústico dos edifícios, com o aparelho Termo-Higro-Decibelímetro-Luxímetro Digital Portátil TDHL 400, da Instrutherm, que permite a medição de temperatura, umidade, nível de ruído e iluminância. A escolha desse instrumento se justifica por sua praticidade e capacidade de fornecer dados confiáveis para a análise do desempenho ambiental em ambientes internos (Souza *et al.*, 2018).

A iluminância foi medida em lux em pontos centrais nos ambientes, a temperatura do ar foi medida em graus Celsius, a intensidade sonora foi obtida em decibéis em diversos pontos

dos ambientes. Essas medições foram realizadas com o objetivo de coletar dados quantitativos sobre as condições de desempenho ambiental dos edifícios analisados.

### 3.3 Estudo de caso

O método utilizado para este trabalho é o estudo de caso. Segundo Yin (2010), essa estratégia vai ao encontro da necessidade de planejamento e análise de dados, além de fornecer os parâmetros necessários para sua coleta. Para isso, foram selecionados dois edifícios residenciais localizados na cidade de Brasília, considerando o ano de construção, a tipologia e os sistemas construtivos empregados.

Edifícios sobre pilotis em superquadras são símbolos do código arquitetônico de Brasília e fazem parte do patrimônio tombado da cidade. O bairro Noroeste pode ser visto como a adaptação da superquadra às exigências de um novo século, no qual a tradição arquitetônica de Lucio Costa de 6 pavimentos sobre pilotis e novos materiais construtivos são utilizados nas fachadas com avanços e reentrâncias, o que confere um conceito moderno e dentro das concessões de ocupação de área (Glehn e Kos, 2021).

Tanto as superquadras quanto o bairro Noroeste representam a evolução da arquitetura residencial em Brasília. Ao examinar este modelo de edifícios, pode parecer à primeira vista que as soluções e tipologias são repetidas. No entanto, essas construções têm sofrido alterações desde a inauguração de Brasília.

Embora a legislação de uso e ocupação do solo para os prédios residenciais tenha sofrido poucas alterações, a introdução de novos regulamentos permitiu a ocupação de área pública em espaço aéreo e em subsolo. Isso resultou em uma modificação significativa dos edifícios atualmente construídos, gerando blocos mais volumosos e apartamentos mais profundos, apresentando um desafio para os arquitetos na busca por projetos com melhor desempenho térmico, acústico e lumínico.

No bairro Noroeste, a orientação, implantação e forma do edifício são definidas pelo projeto de urbanismo, para a fachada exige-se transparência visual em detrimento das faces opacas nos avanços em espaço aéreo. (Glehn e Kos, 2021)

Dessa forma, a crescente verticalização e adensamento das cidades, impulsionados por novas legislações e regulamentos, trazem desafios para o projeto de edificações com bom desempenho ambiental. Santos e Ferreira (2022) destacam a importância de integrar o

planejamento urbano e o projeto arquitetônico para possibilitar a qualidade ambiental das cidades, incentivando a construção de edifícios mais compactos e eficientes, com melhor aproveitamento da luz natural e da ventilação.

Portanto, se torna relevante a análise da morfologia do contexto urbano e dos edifícios residenciais do bairro Noroeste, sob a ótica do desempenho térmico, acústico e lumínico da NBR 15575.

A caracterização dos objetos de estudo se baseou em documentos fornecidos pela construtora, como projetos arquitetônicos, memoriais descritivos e relatórios técnicos. Adicionalmente, foram realizadas visitas técnicas aos edifícios para observação *in loco* e registro fotográfico. A escolha dos edifícios também se justifica por sua localização na mesma zona bioclimática, definida pela NBR 15220-3, o que permite uma comparação mais precisa do desempenho, e por representarem diferentes tipologias e padrões construtivos dentro do contexto de Brasília.

Os dados coletados das duas edificações foram analisados de forma comparativa, para identificar semelhanças e divergências entre os resultados das simulações e das medições *in loco*.

### 3.3.1 Edifício A

O edifício, denominado A, possui área construída de 15000 m<sup>2</sup> distribuídas em 2 pavimentos e pilotis, tendo apartamentos de um dormitório por unidade, com áreas de 30 a 53 m<sup>2</sup>, todos com acabamento de alto padrão (Figura 3).

Figura 3 - Imagem do edifício A.



Fonte: Imagem obtida no site da empresa (2024).



A Figura 4 apresenta as plantas baixas dos apartamentos 115, 117 e 219 do edifício A, selecionados como estudos de caso. As unidades foram escolhidas por representarem diferentes tipologias e orientações solares, o que possibilita uma análise mais abrangente do desempenho térmico, lumínico e acústico do edifício. A diversidade nas plantas, como a disposição dos cômodos e a localização das aberturas, permitiu a avaliação da influência da configuração espacial no desempenho ambiental de cada apartamento. As plantas também auxiliam na compreensão da distribuição dos ambientes e na identificação de áreas críticas em relação ao conforto ambiental, como quartos com maior incidência solar ou salas com pouca ventilação natural.

Figura 4 - Planta baixa do apartamento 115, 117 e 219 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

O empreendimento foi concluído em 2023, sendo a coleta de dados de simulação computacional obtida durante a obra em execução e as medições *in loco* antes da entrega das unidades aos proprietários, porém totalmente prontas. As Tabelas 4 a 6 apresentam informações dos componentes construtivos da cobertura, da envoltória e das aberturas da fachada, respectivamente.

Tabela 4 - Componentes construtivos da cobertura do edifício A.

Cobertura do 2º Pavimento	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
	1 - Pintura	-	-	Cor clara $\alpha=0,35$
	2 - Proteção mecânica	Argamassa	3,50	-
	3 - Impermeabilização	Manta asfáltica	0,50	-
	4 - Argamassa	Argamassa	2,50	-
	5 - Laje maciça	Concreto armado	22,00	-

Tabela 5 - Componentes construtivos da envoltória do edifício A.

Paredes externas	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste (Salas, cozinhas e dormitórios)	1 - Insert	Granito	2,00	Cor branco siena $\alpha=0,37$ Cor amarelo ornamental $\alpha=0,60$
	2 - Revestimento	Argamassa	1,50	-
	3 - Alvenaria	Tijolo cerâmico	11,50	-
	4 - Reboco	Argamassa	1,50	-
	5 - Pintura	-	-	-

Tabela 6 - Componentes construtivos da fachada do edifício A.

Vidro utilizado	Transmissão luminosa	Coefficiente de Transmitância Térmica U	Fator Solar %
Vidro AG43 CCC44.1 Guardian 8mm	39%	5,6W/(m²K)	35%

O coeficiente de transmitância térmica (U) e o fator solar (FS) são parâmetros importantes para avaliar o desempenho térmico de elementos construtivos, como janelas e paredes. O coeficiente de transmitância térmica (U), expresso em  $W/(m^2K)$ , indica a quantidade de calor que atravessa um elemento por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura. Já o fator solar (FS), expresso em porcentagem (%), indica a quantidade de energia solar que atravessa um elemento, considerando a transmissão direta e a absorção e reemissão. Ambos os parâmetros influenciam o conforto térmico e o consumo de energia em edificações, sendo importantes para a escolha de materiais e soluções construtivas adequadas.

A Tabela 7 apresenta as características dos ambientes que foram simulados da edificação A e tem como objetivo apresentar as propriedades dos materiais utilizados nos apartamentos que foram utilizados nas simulações computacionais.

Tabela 7 - Características dos ambientes simulados do edifício A.

Apto	Ambiente	Refletâncias (%)			Aberturas			
		Piso	Paredes	Teto	Peitoril (m)	Dimensões Largura x Altura (m)	Transmissão luminosa do vidro (%)	Largura caixilhos (cm)
106	Cozinha/AS	Liege nude 50%	Liege nude 50%	Branco Neve 85%	0,1	PVC160 (x2) PVC140 (x2) 5,90 x 1,25 5,90 x 1,00*	AG43 CCC 44.1 39%	4
	Sala		Branco Neve 85%					
	Dormitório 1							
	Dormitório 2							
115	Cozinha/AS / Sala/Dormitório	Liege nude 50%	Liege nude 50%	Branco Neve 85%	0,1	PVC125A (x3) 3,63 x 1,25 3,63 x 1,00*	AG43 CCC 44.1 39%	4
			Branco Neve 85%					
116 / 117	Cozinha/AS / Sala/Dormitório	Liege nude 50%	Liege nude 50%	Branco Neve 85%	-	PAC6 2,70 x 2,30	Vidro Incolor 88%	
219	Cozinha/AS	Liege nude 50%	Liege nude 50	Branco Neve 85%	1,85	JAM7 3,00 x 0,50	Vidro Incolor 88%	4

	Sala					JAC	
	Dormitório		Branco Neve 85%		0,1	2,40 x 1,255 2,40 x 0,945*	

Fonte: Ambiente Eficiente (2023).

As propriedades incluem a refletância do piso, paredes e teto, além das dimensões e tipo de abertura de cada ambiente. Essas informações foram essenciais para configurar as simulações e possibilitar que os resultados sejam representativos do desempenho real dos apartamentos e para a compreensão da metodologia utilizada pelo escritório responsável pelas simulações computacionais.

### 3.3.2 Edifício B

O edifício, denominado *B*, é caracterizado como uma projeção, possui aproximadamente 36000 m<sup>2</sup> de área construída, com 78 unidades privativas de dois e três quartos, subsolos de garagem, pilotis, cujo acesso é público, 5 pavimentos tipo, 6º pavimento com unidades de cobertura duplex, e ainda cobertura de lazer, sendo concluído em 2024 (Figura 5). É composto por dois subsolos, pilotis, seis pavimentos e cobertura. O pavimento tipo possui quatorze unidades habitacionais de cinco tipologias.

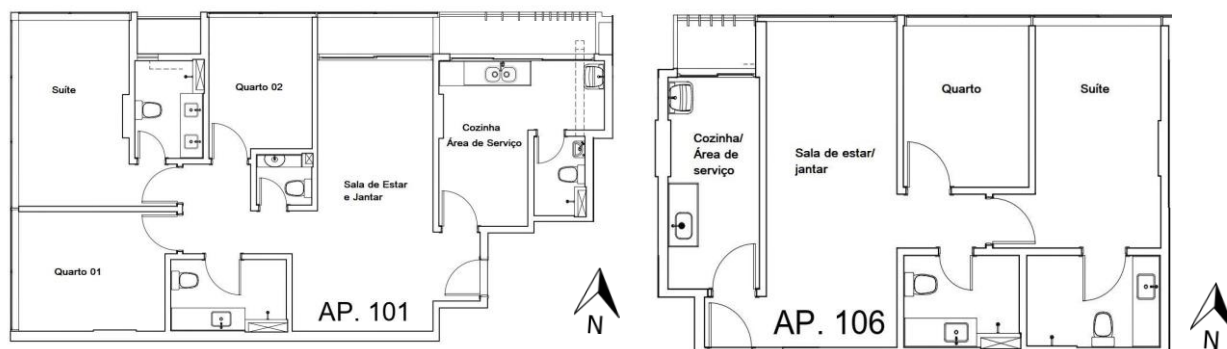
Figura 5 - Imagem do edifício *B*.



Fonte: Imagem obtida no site da empresa (2024).

A Figura 6 apresenta a planta dos apartamentos 101 e 106, utilizados para obtenção de dados nesta pesquisa, que são compostos por sala, cozinha/área de serviço, quartos e banheiros.

Figura 6 - Planta baixa do apartamento 101 e 106 do edifício B.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

As características dos componentes construtivos da cobertura, envoltória e aberturas da fachada empregados na edificação B encontram-se nas Tabelas 8 a 10, respectivamente.

Tabela 8 - Componentes construtivos da cobertura do edifício B.

	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
<b>Cobertura do ático e 7º Pavimento</b>	1 - Proteção mecânica	Argamassa	2,00	Cor cinza $\alpha=0,65$
	2 - Impermeabilização	Manta asfáltica	1,00	-
	3 - Regularização	Argamassa	3,00	-
	4 - Laje	Concreto armado	20,00	-
	5 - Câmara de ar	Ar	28,00	-
	6 - Forro	Gesso acartonado	2,00	-
<b>Cobertura do 6º Pavimento - Terraços</b>	1 - Revestimento	Porcelanato	1,00	Cor nord cement $\alpha=0,50$
	2 - Proteção mecânica	Argamassa	2,00	-
	3 - Impermeabilização	Manta asfáltica	1,00	-
	4 - Regularização	Argamassa	3,00	-

	5 - Laje plana em concreto	Concreto armado	20,00	-
	6 - Câmara de ar	Ar	1,70	-
	7 - Forro	Gesso acartonado	2,00	-

Tabela 9 - Componentes construtivos da envoltória do edifício B.

Paredes externas	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
<b>Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste (Salas e peitoril opaco dos quartos e suítes)</b>	1 - Revestimento	Granito	2,00	Cor branco siena $\alpha=0,37$ Cor amarelo ornamental $\alpha=0,60$
	2 - Insert	Câmara de ar	4,50	-
	3 - Alvenaria	Bloco de concreto	12x19x39	-
	4 - Reboco	Argamassa	2,00	-
	5 - Pintura	-	-	-

Tabela 10 - Componentes construtivos da fachada do edifício B.

Vidro utilizado	Transmissão luminosa	Coefficiente de Transmitância Térmica U	Fator Solar %
<b>Vidro Laminado Ambar HD + PVB incolor + LB52 On Clear</b>	25,2%	5,4W/(m <sup>2</sup> K)	34,5%

As características dos componentes dos materiais empregados nos apartamentos avaliados estão apresentadas na Tabela 11, de acordo com o ambiente, demonstrando as cores e refletâncias dos acabamentos e as características das aberturas.

Tabela 11 - Características dos ambientes.

Apto	Ambiente	Cores e Refletâncias (%)			Aberturas			
		Piso	Paredes	Teto	Peitoril opaco (m)	Dimensões (largura x altura)	Tipo de Vidro e Transmissão Luminosa	Largura Caixilhos (cm)
APT 101	Sala de Estar/Jantar	Porcelanato Mare d'autuno 50%	Branco Neve 50%	Branco Neve 85%	0,2	EAV39 2,80 x 1,40 2,80 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	5
	Cozinha/Área de Serviço		Cerâmica cetim branco 75%		1,1	EAV20 3,50 x 1,40	Incolor 88%	
	Suíte		Branco Neve 85%		0,5	EAV54 4,45 x 1,40 4,45 x 0,60 2,85 x 1,40 2,85 x 0,60	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	
	Quarto 01					EAV53 2,86 x 1,40 2,86 x 0,60		
	Quarto 02				0,2	EAV37 2,50 x 1,40 2,50 x 0,90		
	Banho	Porcelanato Onyx unique 60%	Porcelanato Onyx unique 60%	0,5	EAV01 0,50 x 1,70	Incolor 88%		
APT 102	Sala de Estar/Jantar	Porcelanato Mare d'autuno 50%	Branco Neve 50%	Branco Neve 85%	0,2	EAV16 2,90 x 1,40 2,90 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	5
	Cozinha/Área de Serviço		Cerâmica cetim branco 75%		1,1	EAV56 3,00 x 1,40	Incolor 88%	
	Suíte		Branco Neve 85%		0,2	EAV57 2,59 x 1,40 2,59 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	
	Quarto 01					1,1		
	Quarto 02				EAV50 2,59 x 1,40			
APT 105	Sala de Estar/Jantar	Porcelanato Mare d'autuno 50%	Branco Neve 50%	Branco Neve 85%	0,2	EAV16 2,90 x 1,40 2,90 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear	5

							4mm 35%	
	Cozinha/Área de Serviço		Cerâmica cetim branco 75%		1,1	EAV09 1,56 x 1,40	Incolor 88%	
	Suíte		Branco Neve 85%		0,2	EAV36 2,47 x 1,40 2,47 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	
	Quarto			EAV41 2,50 x 1,40 2,50 x 0,90				
<b>APT 106</b>	Sala de Estar/Jantar	Porcelanato Mare d'autuno 50%	Branco Neve 50%	Branco Neve 85	0,2	EAV48 2,60 x 1,40 2,60 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	5
	Cozinha/Área de Serviço		Cerâmica cetim branco 75%		1,1	EAV09 1,56 x 1,40	Incolor 88%	
	Suíte		Branco Neve 85%		0,2	EAV55 2,50 x 1,40 2,50 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	
	Quarto					EAV35 2,50 x 1,40 2,50 x 0,90		
<b>APT 211</b>	Sala de Estar/Jantar	Porcelanato Mare d'autuno 50%	Branco Neve 50%	Branco Neve 85%	0,2	EAV48 2,60 x 1,40 2,60 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	5
	Cozinha/Área de Serviço		Cerâmica cetim branco 75%		1,1	EAV09 1,56 x 1,40	Incolor 88%	
	Suíte		Branco Neve 85%		0,2	EAV51 2,61 x 1,40 2,61 x 0,90	Vidro Solar Âmbar on clear 4mm + Neutral 70 on clear 4mm 35%	
	Quarto					EAV38 2,55 x 1,40 2,55 x 0,90		

Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

### 3.4 Condições climáticas

O zoneamento bioclimático é um instrumento fundamental para a elaboração de normas como a NBR 15575 e os códigos de eficiência energética, fornecendo informações relevantes sobre as condições climáticas e as estratégias de projeto mais adequadas para cada região. O



presente estudo foi realizado na cidade de Brasília, localizada na zona bioclimática 4, na qual foram analisadas as variáveis de influência no desempenho térmico de edificações residenciais.

Ferreira e Carlo (2023) observaram que as principais variáveis de influência no desempenho térmico das edificações, considerando todas as zonas bioclimáticas brasileiras, foram a absorvância solar da envoltória, a transmitância térmica das coberturas e a ventilação.

A importância da capacidade térmica das paredes para o desempenho térmico em edificações, especialmente em regiões de clima quente e seco como Brasília, tem sido objeto de crescente interesse na pesquisa em arquitetura sustentável. Ferreira e Carlo (2023), destacam a relevância da capacidade térmica dos materiais de construção para amortecer as flutuações de temperatura interna, o que contribui para um ambiente mais estável e confortável.

Embora a transmitância térmica continue sendo um fator importante para o isolamento térmico, a capacidade térmica, ao armazenar calor durante o dia e liberá-lo durante a noite, auxilia na regulação térmica interna. Essa característica é particularmente relevante em regiões com grande amplitude térmica diária, como é o caso de Brasília.

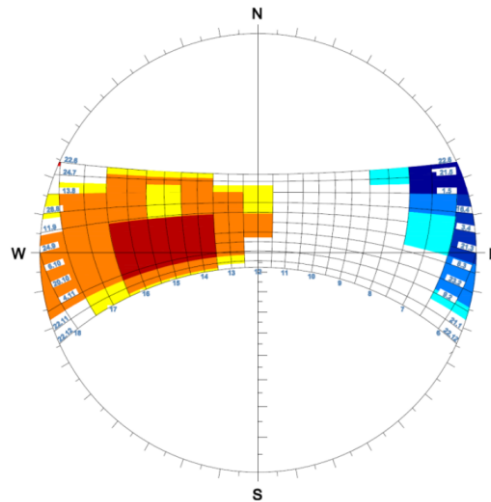
É importante ressaltar que a importância da capacidade térmica e da transmitância térmica varia de acordo com as condições climáticas, o tipo de edificação e os materiais utilizados. No entanto, os resultados obtidos por Ferreira e Carlo (2023) sugerem que, para o contexto específico do Distrito Federal, a capacidade térmica das paredes pode desempenhar um papel mais significativo do que se imaginava.

Dessa forma, como Brasília se localiza na zona bioclimática 4, requer equilíbrio com aberturas de dimensões médias e sombreadas, paredes pesadas, cobertura com isolamento térmico, vedações externas pesadas e isoladas, e ainda estratégias passivas de condicionamento térmico como aquecimento solar, inércia térmica e ventilação.

### **3.5 Carta solar dos edifícios avaliados**

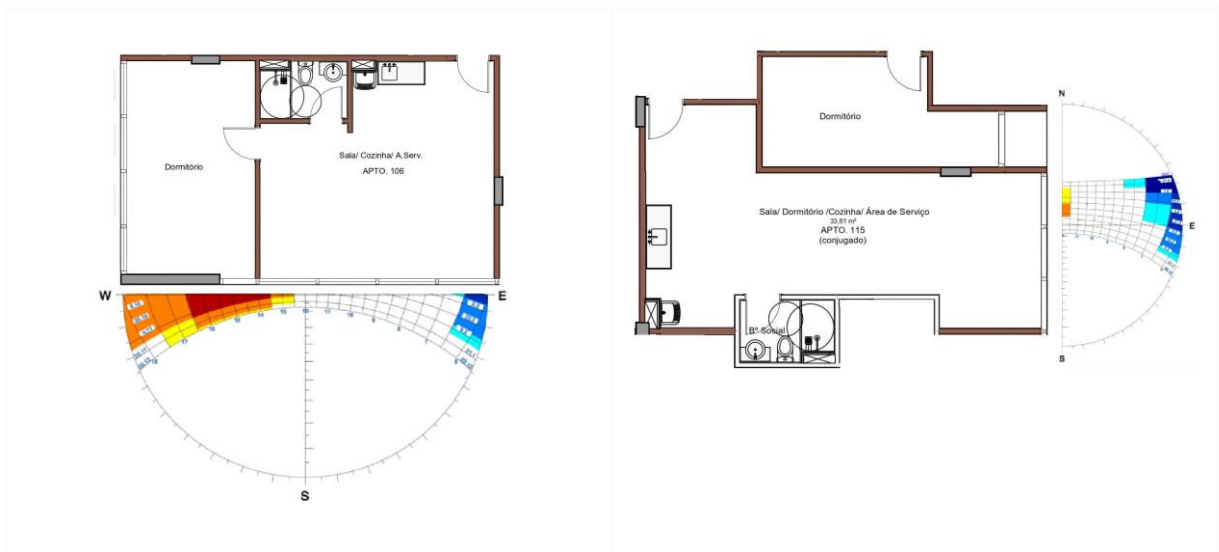
Foram estudadas as quatro principais orientações solares dos edifícios avaliados: norte (N), sul (S), leste (E) e oeste (W). O modelo gráfico utilizado nas simulações computacionais realizadas pelos escritórios especializados foi semelhante para todos os apartamentos do estudo de caso, alterando-se apenas o ângulo que define a orientação norte no modelo tridimensional. A cidade de Brasília está localizada a 15°47' de latitude sul e a 47°56' de longitude oeste e a Figura 7 apresenta a carta solar do Distrito Federal.

Figura 7 - Carta Solar com ângulos de incidência solar de Brasília - DF.



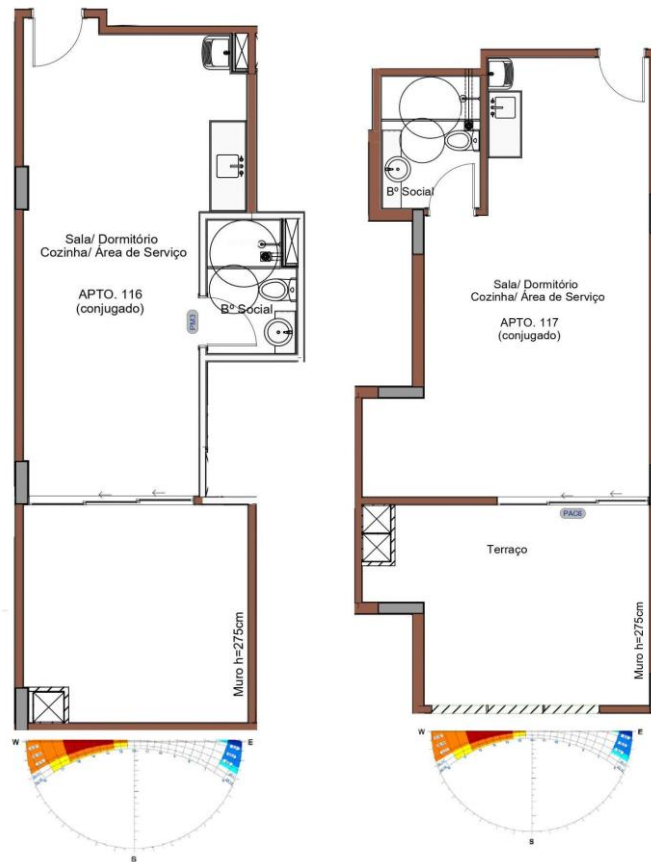
A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 106 e 115 do edifício A são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 106 e 115 do edifício A.



A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 116 e 117 do edifício A são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 116 e 117 do edifício A.



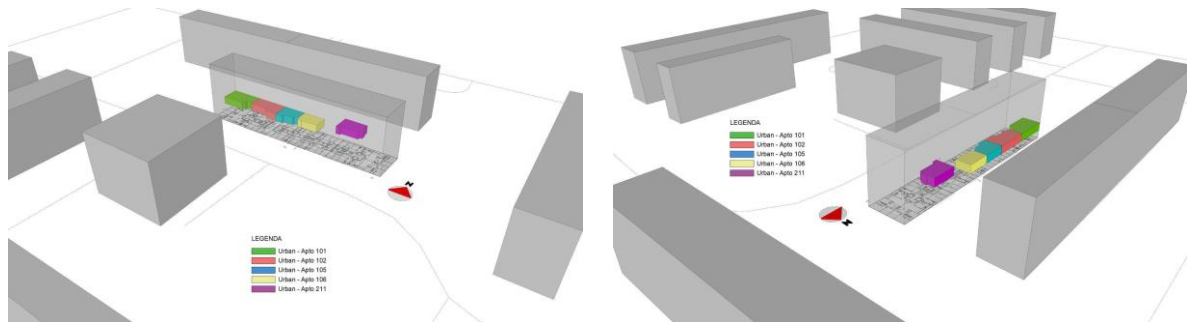
A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 219 do edifício A é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 219 do edifício A.



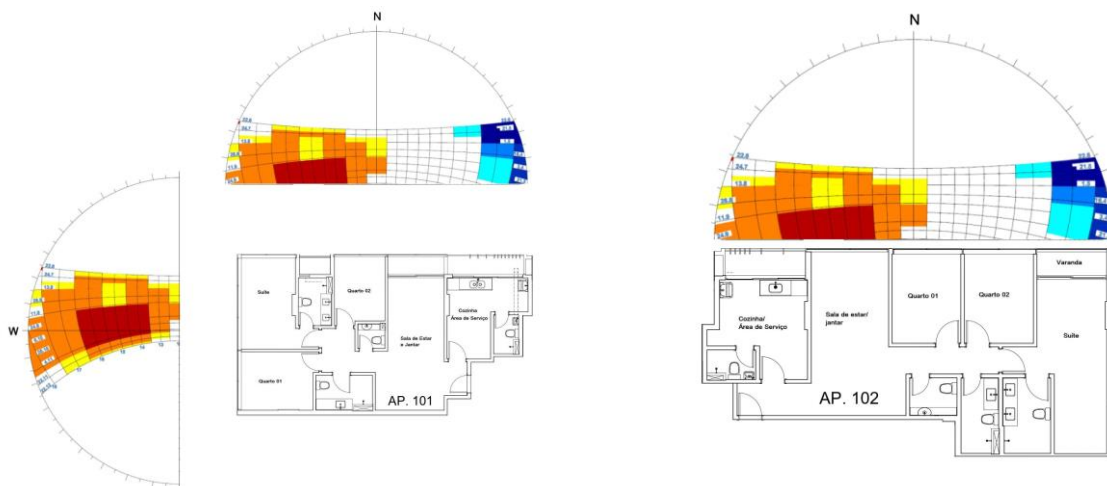
A vista geral da orientação solar do edifício *B* e dos apartamentos analisados na pesquisa estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Vista geral da orientação solar dos apartamentos em que foram realizadas as medições e simulações no edifício *B*.



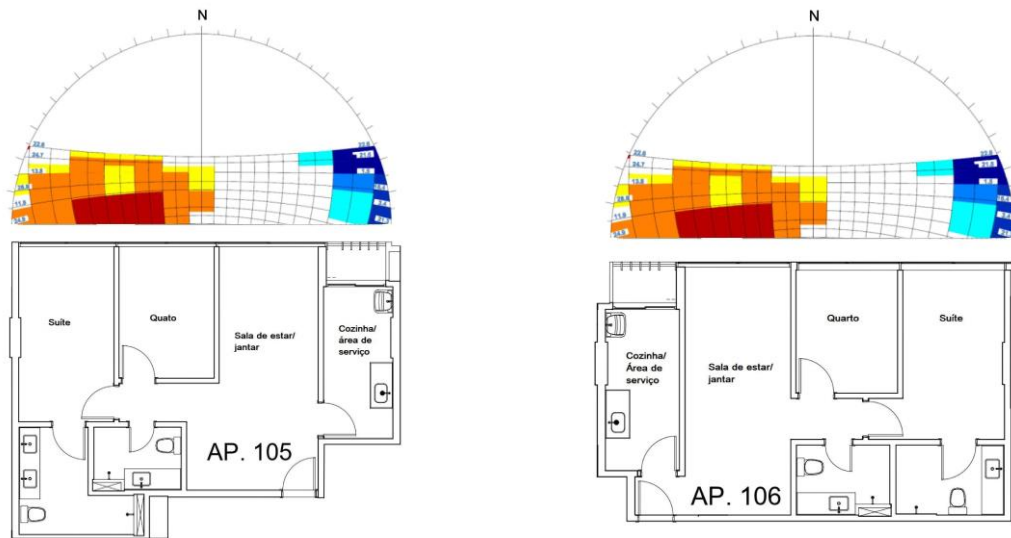
A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 101 e 102 do edifício *B* são apresentadas na Figura 12.

Figura 12 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 101 e 102 do edifício *B*.



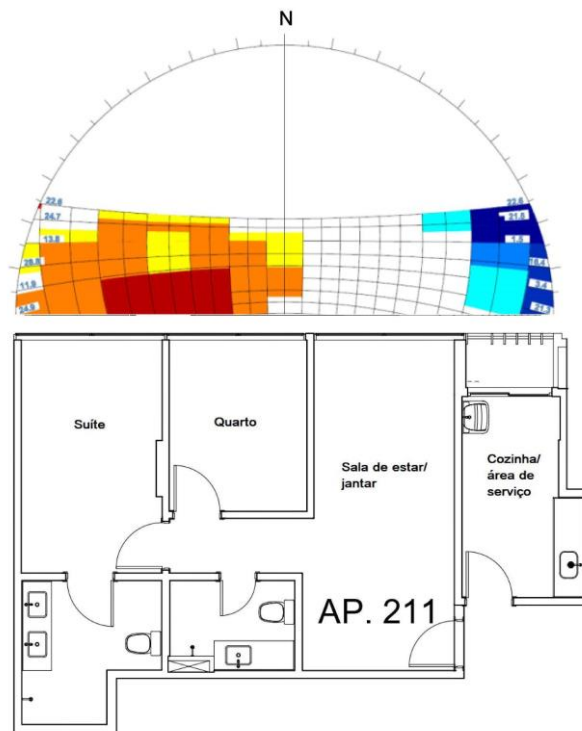
A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 105 e 106 do edifício *B* são apresentadas na Figura 13.

Figura 13 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apto 105 e 106 do edifício *B*.



A trajetória solar anual das diferentes orientações do apartamento 211 do edifício *B* são apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Trajetória solar anual nas diferentes orientações do apartamento 211 do edifício *B*.



As cartas solares apresentadas nas Figuras 10, 12, 13 e 14 ilustram a trajetória solar anual em diferentes orientações para alguns dos apartamentos analisados nos edifícios *A* e *B*, localizados em Brasília, que está localizada na zona bioclimática 4, como definido pela NBR 15220. A cidade apresenta grande amplitude térmica anual e alta radiação solar, o que exige estratégias de projeto específicas para garantir o conforto ambiental nas edificações.

A relevância da carta solar para análise do desempenho dos apartamentos se encontra na sua capacidade de prever a incidência solar nas diferentes faces da edificação ao longo do ano. De acordo com Lamberts *et al.* (2014), a carta solar é uma ferramenta fundamental para o projeto bioclimático, auxiliando na definição de estratégias de proteção solar e no dimensionamento de aberturas para iluminação natural.

No caso dos edifícios analisados, a carta solar permitiu identificar as fachadas mais expostas à radiação solar e, conseqüentemente, as que necessitam de maior atenção em termos de proteção solar. A utilização da carta solar, em conjunto com as simulações computacionais e as medições *in loco*, contribui para a otimização do desempenho térmico e lumínico das edificações, promovendo a eficiência energética.

### **3.6 Medições *in loco***

A coleta de dados nas edificações ocorreu após a finalização da obra. Foram coletados dados em diferentes pontos dos ambientes internos, incluindo sala de estar, quartos e cozinha.

Conforme destacam Dutra e Pereira (2014), às medições *in loco* permitem coletar dados reais, o que auxilia na identificação de possíveis divergências entre o previsto e o executado. No caso do desempenho acústico, as medições *in loco* permitem avaliar o isolamento sonoro de componentes como portas, janelas, paredes e forros, verificando se atendem aos requisitos da NBR 15575. Em relação ao desempenho lumínico, as medições permitem aferir a iluminância natural, considerando fatores como o dimensionamento de aberturas. O desempenho térmico, por sua vez, é avaliado em função das exigências da norma de desempenho, que estabelece critérios para temperatura, umidade e ventilação

Foi utilizado o aparelho Termo-Higro-Decibelímetro-Luxímetro digital portátil, TDHL 400, da Instrutherm, com o intuito de mensurar as variáveis ambientais do espaço, realizar a coleta dos dados de qualidade de iluminação natural, qualidade sonora e térmica dos residenciais (Figura 15).

Figura 15 - Aparelho utilizado na coleta de dados *in loco*, da marca Instrutherm.



Na medição térmica, o parâmetro avaliado foi a temperatura do ar, medida em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), sendo os valores comparados com os estabelecidos pela NBR 15575. Vale ressaltar que a temperatura do ar não representa a sensação térmica dos ocupantes, uma vez que a umidade relativa do ar e a velocidade do ar também influenciam nessa percepção.

A medição lumínica foi realizada em pontos estratégicos dos ambientes, como o centro geométrico de cada cômodo, e os valores foram comparados com os níveis mínimos de iluminância estabelecidos pela NBR 15575 para cada tipo de ambiente.

É relevante ressaltar que para a realização das medições *in loco*, o equipamento (luxímetro) foi configurado na escala de 0 a 20000 lux, com o objetivo de captar com precisão a iluminância em ambientes com diferentes níveis de luminosidade, como os apartamentos voltados para diferentes orientações solares. Essa escolha da escala se justifica pela necessidade de abranger uma ampla faixa de valores de iluminância, desde os mais baixos, em áreas sombreadas, até os mais altos, em áreas com incidência solar direta (Romero, 2020).

A medição acústica foi realizada nos ambientes buscando identificar as fontes de ruído e avaliar o isolamento acústico entre os espaços. Os valores de nível de pressão sonora foram comparados com os limites estabelecidos pela NBR 15575 para diferentes tipos de ruído, como ruído aéreo e de impacto.

Sorgato *et al.* (2014) destacam que o nível de pressão sonora é um indicador fundamental para avaliar o conforto acústico em ambientes internos, e que o uso de um decibelímetro permite a obtenção de dados precisos e confiáveis.

A identificação das fontes de ruído e a avaliação do isolamento acústico entre os espaços são etapas importantes na medição acústica (Bistafa, 2021). O autor destaca que a identificação das fontes de ruído permite a tomada de medidas para reduzir a emissão de ruídos, enquanto a

avaliação do isolamento acústico entre os espaços permite verificar a eficácia das soluções construtivas para garantir o conforto acústico dos ocupantes.

A metodologia utilizada nas medições *in loco* se assemelha à utilizada em outros trabalhos sobre desempenho ambiental de edificações, como o estudo de Sorgato *et al.* (2014) sobre desempenho acústico de fachadas e a pesquisa de Corbella e Yannas (2003) sobre conforto térmico em diferentes climas. A Tabela 12 apresenta os parâmetros, unidades de medida e referências da NBR 15575 utilizados nas medições *in loco* para avaliar o desempenho acústico, térmico e lumínico dos edifícios A e B.

Tabela 12- Parâmetros e referências da NBR 15575 para medições *in loco*.

Desempenho	Parâmetro	Unidade	Referência (NBR 15575:2013)
Acústico	Nível de pressão sonora	dB(A)	50 dB(A) (diurno) / 45 dB(A) (noturno) em áreas sociais; 45 dB(A) (diurno) / 40 dB(A) (noturno) em dormitórios
Térmico	Temperatura do ar interna	°C	21°C a 27°C (zona bioclimática 4)
Lumínico	Iluminância	Lux	Mínimo de 100 lux em áreas de circulação; mínimo de 150 lux em salas e cozinhas; mínimo de 75 lux em banheiros

As medições *in loco* também permitem avaliar a influência de fatores externos, como a obstrução por elementos vizinhos e a variação da luz natural ao longo do dia, na iluminância dos ambientes internos.

### 3.7 Simulação computacional

A simulação computacional é uma ferramenta essencial no processo de projeto, que permite avaliar o comportamento da edificação antes mesmo de sua construção, exigindo a apresentação de simulações computacionais para comprovar o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho.

Os relatórios técnicos contendo os detalhes das simulações que são apresentados nesta pesquisa foram cedidos pela empresa responsável pela construção das edificações.



### 3.7.1 Desempenho térmico

O desempenho térmico é uma exigência para a qualidade da edificação e o conforto dos usuários, almejando garantir saúde, melhorar a habitabilidade e a segurança, bem como diminuir o gasto de energia elétrica das edificações, tendo seus critérios estabelecidos na NBR 15575.

A modelagem dos ambientes com relação à geometria dos espaços, cores de acabamentos internos e externos, tipo e tamanho de fechamentos transparentes foi realizada conforme projeto arquitetônico cedido pela construtora.

O desempenho térmico nas simulações computacionais pode ser avaliado por dois métodos, a primeira maneira é com o método simplificado e o segundo com o método por simulação computacional. A avaliação pelo método simplificado é realizada apenas com base nas propriedades térmicas das paredes externas e coberturas, ou seja, de fechamentos opacos. Dessa forma, para os edifícios do setor Noroeste, que têm área significativa de fechamentos transparentes, a avaliação apenas pelo método simplificado tem-se mostrado insuficiente. A simulação computacional permite que a área envidraçada seja incluída nas análises, atestando sua real influência (Sorgato *et al*, 2014).

No método da simulação computacional, a avaliação é separada em situações de dia típico de verão e de inverno, onde compara-se a diferença entre as temperaturas do ar interno e externo. No caso de Brasília, no dia típico de verão, o ambiente atende ao desempenho mínimo se atingir até 31,2°C. A Tabela 13 apresenta os dados dos dias típicos de verão e inverno de Brasília que foram considerados para referência nas simulações computacionais.

Tabela 13 - Dados de dias típicos de verão e inverno de Brasília.

Dia típico de verão		Dia típico de inverno	
Temperatura máxima diária	31,2°C	Temperatura máxima diária	10°C
Amplitude diária de temperatura	12,5°C	Amplitude diária de temperatura	12,2°C
Temperatura de bulbo úmido	20,9°C	Temperatura de bulbo úmido	14,8°C
Radiação solar	4625 Wh/m <sup>2</sup>	Radiação solar	4246 Wh/m <sup>2</sup>
Nebulosidade	4 décimos	Nebulosidade	3 décimos

Fonte: NBR 15575 (2022).

Para a realização da simulação, foram definidos os parâmetros de entrada do software, que representam as características da edificação, dos materiais e do clima local. A precisão da simulação depende da qualidade dos dados de entrada e da escolha de referências normativas e

técnicas adequadas. A Tabela 14 apresenta os parâmetros e as referências utilizadas na simulação computacional do desempenho térmico dos edifícios *A* e *B*, definidos pelo escritório especializado em simulação computacional de desempenho térmico.

Tabela 14- Parâmetros e referências para simulação do desempenho térmico.

Parâmetro	Unidade	Referência
Temperatura do ar interna e externa	°C	NBR 15575-1:2013
Umidade relativa do ar	%	ASHRAE 55:2013
Velocidade do ar	m/s	ASHRAE 55:2013
Radiação solar	W/m <sup>2</sup>	NBR 15220-3:2005
Transmitância térmica dos materiais	W/m <sup>2</sup> K	NBR 15575-1:2013
Capacidade térmica dos materiais	J/m <sup>2</sup> K	NBR 15575-1:2013
Dados climáticos	-	INMET

### 3.7.2 Desempenho lumínico

As dependências foram modeladas com software ReluxPro – 2014, versão 1.2.0 e simuladas com o método de Raytracing, atendendo as exigências da NBR 15575 e compõem o relatório técnico elaborado pela empresa contratada pela construtora responsável pela execução da edificação.

Para as edificações residenciais, a norma de desempenho apresenta níveis mínimos de iluminação dentro dos espaços de ocupação prolongada, como quartos, salas, cozinhas e áreas de serviço. Ela define que, nesses ambientes, é necessário uma iluminância mínima de 60 lux no plano de trabalho (a 0,75 m de altura) no centro do ambiente, considerando um dia com nebulosidade média. A Tabela 15 mostra os níveis de iluminância para os diferentes níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior) estabelecidos pela NBR 15575.

Tabela 15 – Níveis de iluminância, em lux, estabelecidos pela NBR 15575.

Nível de desempenho	Iluminamento geral para os níveis de desempenho (lux)		
	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR
Sala de estar Dormitório Copa/cozinha Área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro Corredor Escadas Garagens Estacionamentos	Não requerido	≥ 30	≥ 45

Fonte: NBR 15575 (2022).

Uma adequada forma de definir parâmetros de projeto para alcançar a quantidade de luz ideal é através da simulação computacional. Nela, pode-se testar diversos cenários e verificar qual a melhor estratégia para projetar ambientes com níveis adequados de iluminação. Observa-se que o tamanho das janelas influencia significativamente na quantidade de luz no ambiente, e que o excesso de aberturas não é interessante pois leva à maior passagem de calor, que irá influenciar no desempenho térmico da edificação.

A NBR 15575 recomenda que a avaliação do desempenho lumínico seja realizada nos ambientes onde os usuários passam a maior parte do tempo, como salas de estar, dormitórios, cozinhas e áreas de serviço. Para atender ao nível mínimo requerido, as simulações acontecem com os dados dos dias 23 de abril e 23 de outubro, às 09h30min e às 15h30min, com céu parcialmente nublado (50% de nuvens). Banheiros, corredores, escadarias, garagens e estacionamentos não possuem exigência para atendimento ao nível mínimo.

Para garantir a iluminação natural adequada nas edificações, a NBR 15575 define que obstáculos externos não devem impedir a entrada de luz nos ambientes, comprometendo os níveis mínimos de iluminância. A norma também recomenda que as janelas em salas e quartos sejam posicionadas a uma altura máxima de 1,00 m do piso e que a parte superior da janela não ultrapasse 2,20 m de altura.

Para a realização da simulação, diversos parâmetros foram considerados, como a iluminância natural, a transmitância luminosa das superfícies, a geometria dos ambientes e as condições de nebulosidade. A Tabela 16 apresenta os parâmetros utilizados para configurar o software de simulação lumínica (Relux Pro 2014), que calculou a iluminância natural em diferentes pontos dos ambientes.

Tabela 16- Parâmetros e referências para simulação do desempenho lumínico.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Referência</b>
<b>Iluminância natural</b>	lux	NBR 15575
<b>Transmitância luminosa</b>	%	NBR ISO/CIE 8995
<b>Refletância</b>	%	NBR ISO/CIE 8995
<b>Geometria e dimensões dos ambientes</b>	-	-
<b>Orientação solar</b>	-	-
<b>Condições de nebulosidade</b>	-	Dados climáticos históricos da região de Brasília (INMET)

As referências normativas e os dados climáticos foram utilizados para definir os critérios de desempenho lumínico e para validar os resultados da simulação, o que possibilitou maior confiabilidade da análise.

### 3.7.3 Desempenho acústico

A acústica arquitetônica é a área que estuda como o som atua em diferentes ambientes construídos e como o projeto pode influenciar e controlar esse comportamento. Seu objetivo é possibilitar que os espaços proporcionem qualidade acústica adequada para suas funções específicas, possuindo estreita relação com o papel que o som desempenha na vida dos seres humanos, que pode influenciar fatores como o humor, a saúde e a concentração.

Os princípios fundamentais do desempenho acústico estão relacionados à transmissão sonora, absorção, reflexão e difusão. Eles orientam a maneira como o som interage com as superfícies, seus respectivos materiais de acabamento e sua posição em um ambiente. Encontrar o equilíbrio ideal entre esses princípios é fundamental para projetar espaços que ofereçam experiências acústicas de qualidade.

A aplicação da acústica arquitetônica varia em função do tipo e das necessidades específicas de cada espaço. Elementos como janelas acústicas ajudam a reduzir o ruído externo e a criar ambientes internos mais tranquilos. O isolamento entre apartamentos, assim como o tratamento de instalações prediais e de equipamentos mecânicos é importante para possibilitar uma boa performance à edificação.

As simulações computacionais foram realizadas com o software Insul, que permitiu modelar a propagação sonora nos edifícios e prever o desempenho acústico dos diferentes elementos construtivos. Os dados de entrada para as simulações foram obtidos a partir dos projetos arquitetônicos também fornecidos pela construtora, memoriais descritivos e especificações técnicas dos materiais.

A norma de desempenho estabelece limites para o isolamento sonoro entre unidades autônomas, entre unidades autônomas e áreas comuns, e para o isolamento acústico de fachadas. A análise comparativa entre os resultados e os requisitos da norma permitiu avaliar a conformidade dos edifícios com as exigências de desempenho acústico.

Mourão *et al.* (2016) desenvolveram um check-list com o objetivo de auxiliar a elaboração, o planejamento e a execução de projetos das edificações habitacionais diante dos

requisitos e critérios exigidos pelas normas de desempenho, contidas na NBR 15575. A Tabela 17 apresenta os itens do checklist que devem ser avaliados em cada ambiente no quesito acústico, baseado no relatório do Inovacon-CE (Mourão *et al.*, 2016).

Tabela 17 - Checklist dos itens que demandam maior atenção, relacionados ao desempenho acústico.

Requisitos gerais desempenho acústico	Ambiente	Normas
A edificação atende ao limite mínimo das vedações externas	vedações externas	NBR 15575-4 NBR 15575-5
A análise do desempenho ambiental busca avaliar se as condições internas das edificações atendem às necessidades e expectativas dos usuários em relação ao desempenho térmico.	entre ambientes	NBR 15575-3 NBR 15575-4
O som resultante de ruídos de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros)	dormitórios	NBR 15575-3
O isolamento de som aéreo de ruídos de uso normal (fala, TV, conversas, música) e uso eventual (áreas comuns, áreas de uso coletivo)	sistema de pisos entre unidades habitacionais	NBR 15575-3
Os dormitórios da unidade habitacional foram avaliados (vedação externa - fachada)	dormitórios	NBR 15575-4

Fonte: Mourão *et al.* (2016).

A simulação computacional do desempenho acústico desempenha um papel fundamental no contexto da NBR 15575, e trata-se de ferramenta indispensável para possibilitar maior qualidade acústica das edificações. Ao permitir a previsão do comportamento acústico de um projeto ainda na fase inicial, a simulação possibilita a identificação e a correção de problemas antes mesmo da construção, o que evita retrabalhos, custos adicionais e, principalmente, a insatisfação dos usuários.

A Tabela 18 apresenta os valores de referência para cada nível de desempenho acústico, de acordo com a NBR 15575, para diferentes elementos construtivos, como paredes, pisos e fachadas.

Tabela 18- Níveis de desempenho acústico da NBR 15575.

Elemento Construtivo	Critério de Desempenho	Nível Mínimo	Nível Intermediário	Nível Superior
Paredes internas (entre unidades autônomas)	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw > 45$ dB	$DnTw > 50$ dB	$DnTw > 55$ dB
Paredes internas (entre unidades autônomas e áreas comuns)	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw > 45$ dB	$DnTw > 50$ dB	$DnTw > 55$ dB

<b>Conjunto de paredes e portas (entre unidades autônomas)</b>	Isolamento a ruído aéreo	$DnTw \geq 45$ dB	$DnTw \geq 50$ dB	$DnTw > 55$ dB
<b>Pisos (entre unidades autônomas)</b>	Isolamento a ruído de impacto	$LnTw \leq 75$ dB	$LnTw \leq 65$ dB	$LnTw \leq 55$ dB
<b>Pisos (entre unidades autônomas e áreas comuns)</b>	Isolamento a ruído de impacto	$LnTw \leq 75$ dB	$LnTw \leq 65$ dB	$LnTw \leq 55$ dB
<b>Fachada (dormitórios)</b>	Isolamento a ruído aéreo de fachada	$DnTw + Ctr \geq 30$ dB	$DnTw + Ctr \geq 35$ dB	$DnTw + Ctr \geq 40$ dB

Fonte: NBR 15575 (2022).

A sigla LnTw se refere ao nível de pressão sonora de impacto padronizado, sendo um valor que caracteriza o isolamento a ruído de impacto de um determinado elemento ou sistema construtivo. Quanto menor o valor de LnTw, melhor é o isolamento a ruído de impacto. Já o  $DnTw + Ctr$  é o índice de avaliação do desempenho acústico de fachadas, que representa o isolamento a ruído aéreo de uma fachada, considerando a influência do ruído do tráfego. O termo DnTw representa o índice de redução sonora ponderado da fachada, enquanto Ctr é o termo de adaptação para o espectro do ruído de tráfego, onde, quanto maior o valor de  $DnTw + Ctr$  melhor o isolamento acústico da fachada.

Para a realização da simulação, diversos parâmetros foram considerados, como o índice de redução sonora, o nível de pressão sonora de impacto, o tempo de reverberação e as características dos materiais.

A Tabela 19 a seguir apresenta os parâmetros em decibéis (dB) e em segundos (s) para o tempo e as referências utilizadas na simulação computacional do desempenho acústico dos edifícios A e B.

Tabela 19- Parâmetros e referências para simulação do desempenho acústico.

Parâmetro	Unidade	Referência
<b>Índice de redução sonora ponderado (DnTw)</b>	dB	NBR 15575-1:2013
<b>Nível de pressão sonora de impacto padronizado (LnTw)</b>	dB	NBR ISO 140-4:2006
<b>Tempo de reverberação</b>	s	NBR 15575-1:2013
<b>Coefficiente de absorção sonora dos materiais</b>	-	NBR 15575-1:2013
<b>Geometria e dimensões dos ambientes</b>	-	-

<b>Fontes de ruído</b>	-	Dados de ruído de tráfego da região de Brasília
------------------------	---	---

### 3.8 Padrões construtivos das edificações

A análise da arquitetura de cada edificação, considerando a materialidade, o formato da planta e a implantação, é crucial para compreender a influência desses fatores no desempenho ambiental conforme observado por Sorgato *et al.* (2014).

Bistafa (2018) também destaca a influência da materialidade no desempenho acústico, especialmente em áreas urbanas densas, onde o isolamento sonoro é crucial para garantir o conforto dos moradores. O autor recomenda a utilização de materiais com propriedades acústicas adequadas, como forros e revestimentos absorventes, para reduzir a propagação de ruídos e garantir a privacidade dos ambientes.

A análise da arquitetura das edificações, em conjunto com as simulações computacionais e as medições *in loco*, permitiu uma avaliação mais adequada do desempenho ambiental. A Tabela 20 apresenta uma análise comparativa da materialidade e dos aspectos da arquitetura dos edifícios A e B, evidenciando as diferenças e similaridades entre as duas edificações.

Tabela 20 - Materialidade e aspectos arquitetônicos dos edifícios A e B.

<b>Característica</b>	<b>Edifício A</b>	<b>Edifício B</b>
<b>Tipo de estrutura</b>	Concreto armado	Concreto armado
<b>Paredes externas</b>	Tijolo cerâmico com revestimento em granito e placas cimentícias	Blocos de concreto com revestimento em granito
<b>Cobertura</b>	Laje plana com proteção mecânica e impermeabilização	Laje plana com proteção mecânica, impermeabilização e câmara de ar
<b>Esquadrias</b>	Alumínio com vidro laminado AG 43	Alumínio com vidro laminado refletivo (fachadas norte, oeste e leste) e vidro laminado incolor (fachada sul)
<b>Formato da planta</b>	Apartamentos de 1 dormitório, com plantas compactas e algumas alongadas	Apartamentos de 2 e 3 dormitórios, com plantas mais alongadas

<b>Orientação solar</b>	Variada, com apartamentos voltados para todas as faces	Predominantemente norte e sul, com algumas unidades voltadas para leste e oeste
<b>Número de pavimentos</b>	2 pavimentos + pilotis	6 pavimentos + pilotis
<b>Altura do pé-direito</b>	2,75 m	2,70 m
<b>Varandas</b>	Sim	Sim
<b>Fachada opaca</b>	Tijolo cerâmico com revestimento em granito e placas cimentícias.	Fachada unitizada com painéis pré-fabricados de alumínio
<b>Integração com o paisagismo</b>	Jardins no pilotis e áreas verdes no entorno	Jardins no pilotis e áreas verdes no entorno

Os edifícios foram construídos com materiais tradicionais, sendo em concreto armado, o que representa o estilo arquitetônico estrutural da maioria dos edifícios no plano piloto de Brasília, inspirado no modernismo pelo uso de vidros e fachada unitizada no edifício *B*.



## CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Análise comparativa entre dados obtidos *in loco* e simulações computacionais

Para a análise e interpretação de resultados foi utilizada a comparação dos dados obtidos das simulações computacionais com os as medições *in loco*, a fim de identificar as principais dificuldades e oportunidades na aplicação da NBR 15575.

A Tabela 21 descreve as etapas do processo de análise de desempenho ambiental das edificações, desde a coleta de dados até a análise dos resultados, contribuindo para as discussões aqui apresentadas.

Tabela 21- Etapas da análise e discussão de resultados da pesquisa.

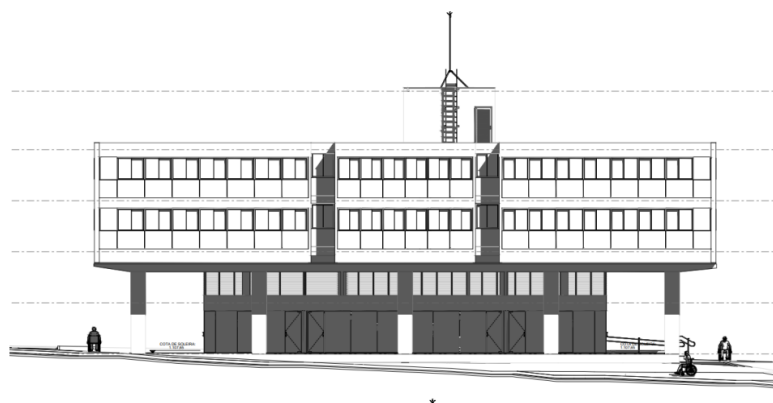
Etapa	Descrição	Objetivo
Coleta de dados	Seleção dos edifícios e coleta de dados de simulação e medição <i>in loco</i>	Obter dados representativos para análise
Análise das simulações computacionais realizadas por escritórios especializados	Análise dos dados de simulação térmica, lumínica e acústica	Prever o desempenho ambiental das edificações
Medições <i>in loco</i>	Medições de iluminância, temperatura e ruído nos apartamentos	Avaliar o desempenho real das edificações
Análise de resultados	Comparação entre dados simulados e medidos	Identificar dificuldades e oportunidades na aplicação da NBR 15575

A Tabela 22 detalha critérios de desempenho considerados na simulação computacional e na medição *in loco*, para os edifícios A e B, representados nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

Tabela 22- Parâmetros analisados no desempenho térmico do edifício A e B.

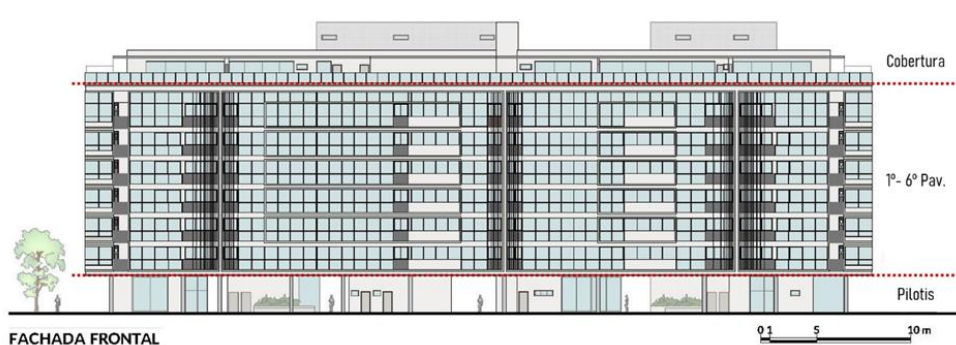
Edifício	Desempenho	Simulação Computacional	Medição <i>in loco</i>
A e B	Térmico	Temperatura (°C)	Temperatura do ar (°C)
A e B	Lumínico	Iluminância (lux) - Escala de 0 a 1000 lux	Iluminância (lux) - Escala de 0 a 20000 lux
A e B	Acústico	Nível de pressão sonora (dB)	Nível de pressão sonora (dB)

Figura 16 - Fachada frontal do edifício A.



Fonte: Adaptado do projeto original (2024).

Figura 17 - Fachada frontal do edifício B.



Fonte: Adaptado do projeto original (2024).

## 4.2 Medições *in loco*

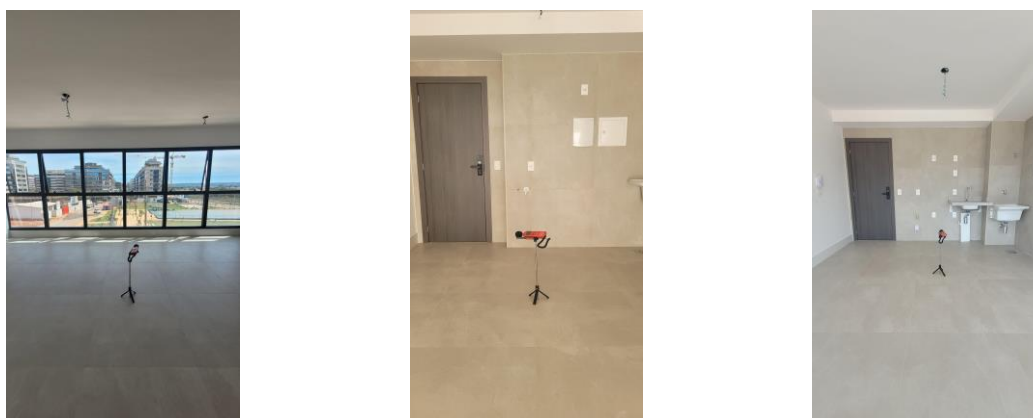
As medições *in loco* são fundamentais para avaliar o desempenho lumínico, térmico e acústico de edificações, pois fornecem dados reais sobre como o ambiente se comporta em relação a esses aspectos, considerando as condições específicas de uso, clima e ocupação.

### 4.2.1 Desempenho lumínico

#### 4.2.1.1 Edifício A

As medições foram realizadas entre os dias 29 de março a 26 de junho de 2023, em horários entre 7h até 15 horas, antes das unidades serem entregues aos proprietários, mas com todos os acabamentos finalizados. Foram obtidos dados da iluminância dos ambientes. A Figura 18 apresenta imagens do equipamento utilizado no centro de cada ambiente para coleta de dados no edifício A.

Figura 18 - Imagens do equipamento utilizado nos apartamentos 106, 215 e 216, respectivamente, do edifício A.



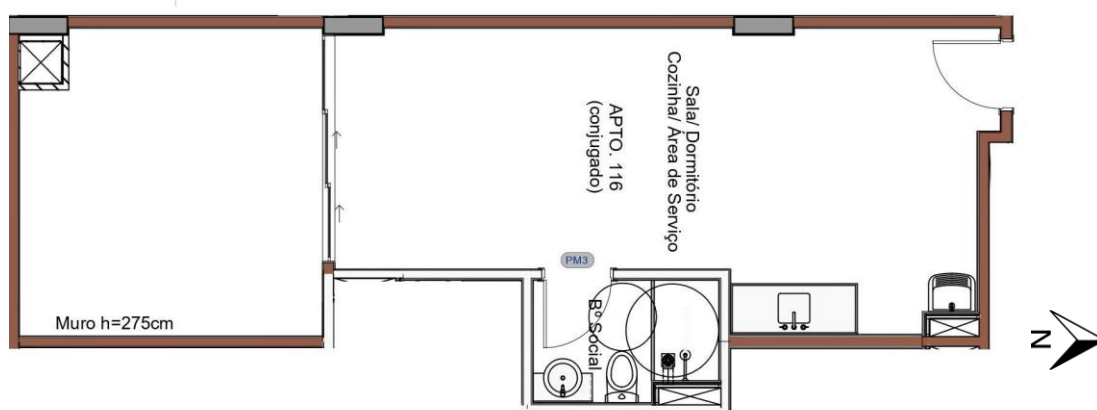
A Tabela 23 apresenta os valores médios de iluminância, em lux, para os diferentes ambientes avaliados. Pode-se observar valores médios entre 601 a 971 lux, o que pode ser explicada por diversos fatores, como a localização do apartamento no edifício, a orientação solar, a geometria dos ambientes e a presença de elementos obstrutores da luz natural, conforme apontado por Frota e Schiffer (2003).

Tabela 23 – Valores médios da iluminância, em lux, dos apartamentos 106, 115, 116, 117 e 219.

Apto	Ambiente	10-11 h 29/03/2023	7h-8h 03/04/2023	14–15 h 07/04/2023	14h-15h 13/04/2023	7h-8h 19/04/2023	7h-8h 26/04/2023
106	Sala/Cozinha/Área de Serviço	894	888	914	926	901	896
	Dormitório	943	903	971	945	858	893
115	Sala/Dormitório	678	689	640	610	604	616
	Cozinha/Área de Serviço	637	666	615	619	605	632
116	Sala/Dormitório	676	655	693	681	698	603
	Cozinha/Área de Serviço	699	606	634	638	612	621
117	Sala/Dormitório	680	691	608	623	601	677
	Cozinha/Área de Serviço	612	619	639	641	611	616
219	Sala/Dormitório	917	942	841	861	922	897
	Cozinha/Área de Serviço	628	633	684	602	641	623

O apartamento 116 apresentou um dos menores valores médios de iluminância, equivalente a 603 lux. A Figura 19 apresenta a planta baixa desse apartamento, onde observa-se que a unidade possui planta profunda, sendo a área de serviço e a extremidade da cozinha mais prejudicados no aspecto luminoso, contudo a presença do terraço descoberto e o uso de vidro incolor em toda a abertura da esquadria para o terraço se mostraram suficientes para atingir o desempenho lumínico solicitado pela norma de desempenho.

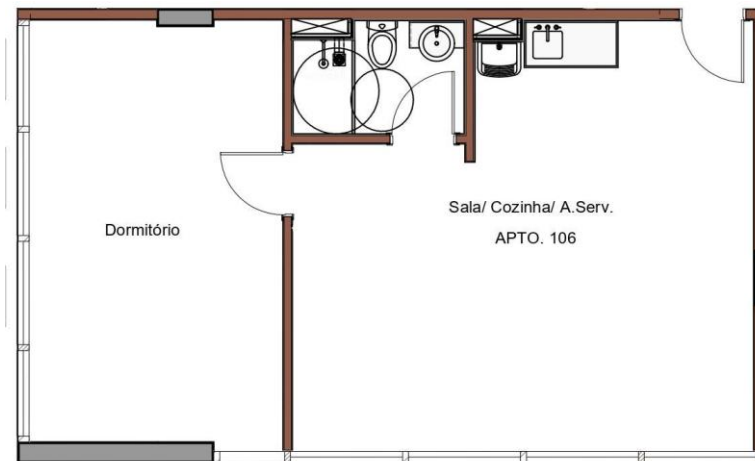
Figura 19 - Planta baixa da unidade 116 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Pode-se observar que o apartamento 106 (Figura 20) apresentou os melhores resultados de iluminância, entre 888 a 943 lux, o que pode ser resultado da extensa área envidraçada, com janelas em duas fachadas por ser uma unidade de canto. Essa configuração, somada à orientação solar predominantemente oeste, maximiza a captação de luz natural, corroborando os achados de Frota e Schiffer (2003) que destacam a influência da orientação e da área de abertura na iluminância. Além disso, a ausência de obstruções por outros edifícios na fachada oeste, favorece a entrada de luz natural, principalmente no período da tarde, quando a incidência solar nessa fachada é mais intensa.

Figura 20 - Planta baixa da unidade 106 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.



Esse resultado se assemelha ao estudo de Carlo *et al.* (2018), onde unidades com maior área envidraçada e menor obstrução por elementos externos apresentaram melhor desempenho lumínico.

#### 4.2.1.2 Edifício B

As medições *in loco* no edifício B foram realizadas entre os dias 04 de abril a 12 de abril de 2024, em horários que variaram entre 7 e 15 horas, para aproveitar a maior amplitude de luz natural proporcionada pela luz diurna. A Figura 21 apresenta imagens em dias de coleta de dados nos apartamentos com o equipamento posicionado nos centros geométricos dos ambientes das unidades 101 e 106 do edifício B.

Figura 21 - Equipamento sendo utilizado nos apartamentos 101 e 106 do edifício B.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

A Tabela 24 apresenta os valores médios de iluminância, em lux, para os diferentes ambientes avaliados, coletados em diferentes dias do edifício B.

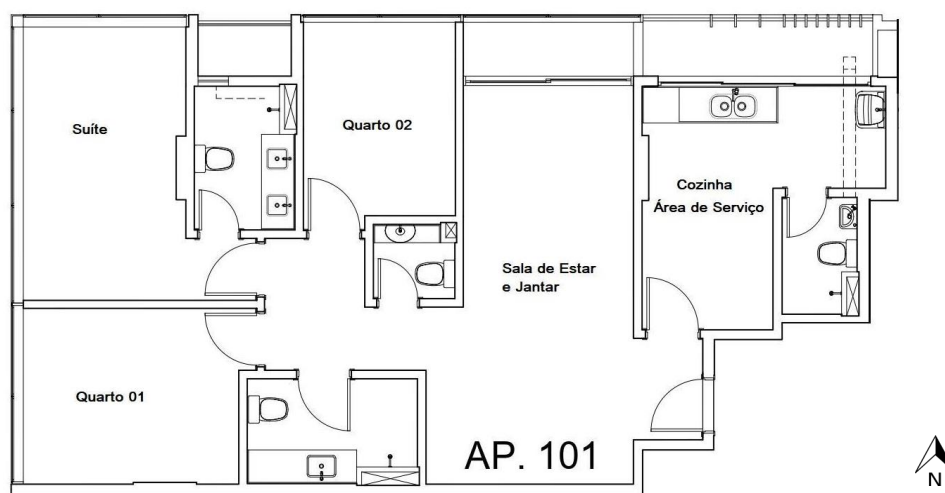
Tabela 24 – Valores médios da iluminância, em lux, do apartamento 101, 102, 105, 106 e 211.

Apto	Ambiente	10-11 h 04/04/2024	7h-8h 5/04/2024	14-15 h 09/04/2024	14h-15h 10/04/2024	7h-8h 11/04/2024	7h-8h 12/04/2024
101	Sala Estar/Jantar	956	976	895	998	912	876
	Cozinha	901	911	894	945	885	875
	Área de Serviço	801	832	986	865	862	834
	Suíte	765	875	752	890	788	785
	Quarto 01	867	863	890	973	888	897
	Quarto 02	953	972	942	965	863	842
102	Sala Estar/Jantar	823	875	845	897	798	823
	Cozinha	956	956	856	895	954	943
	Área de Serviço	857	834	895	832	934	823
	Suíte	745	789	734	843	832	738
	Quarto 01	957	845	956	891	828	947
	Quarto 02	734	799	752	743	823	845
105	Sala Estar/Jantar	876	834	784	845	745	833
	Cozinha	974	974	912	911	943	954
	Área de Serviço	761	877	750	801	844	790
	Suíte	854	876	810	792	812	854
	Quarto	789	791	802	709	855	834
106	Sala Estar/Jantar	698	751	698	696	728	723
	Cozinha	812	885	831	854	891	791
	Área de Serviço	734	784	723	798	801	824
	Suíte	832	856	879	956	846	876
	Quarto	789	798	894	835	854	86
211	Sala Estar/Jantar	984	876	954	832	835	865
	Cozinha	836	735	784	782	862	896

Área de Serviço	823	843	842	823	783	831
Suíte	724	756	783	843	724	743
Quarto	732	846	845	833	786	796

De acordo com os resultados o apartamento 101 do edifício *B* apresenta os melhores resultados de iluminância (765 a 986 lux), superando os demais apartamentos (696 a 984 lux). Essa superioridade pode ser atribuída à localização em posição de canto, com janelas em duas fachadas, como apresentado na Figura 22 que demonstra a planta do respectivo apartamento, o que maximiza a captação de luz natural. A orientação solar norte e oeste garante boa incidência de luz solar ao longo do dia, e a geometria pode ter favorecido a distribuição da luz natural, evitando áreas de sombra.

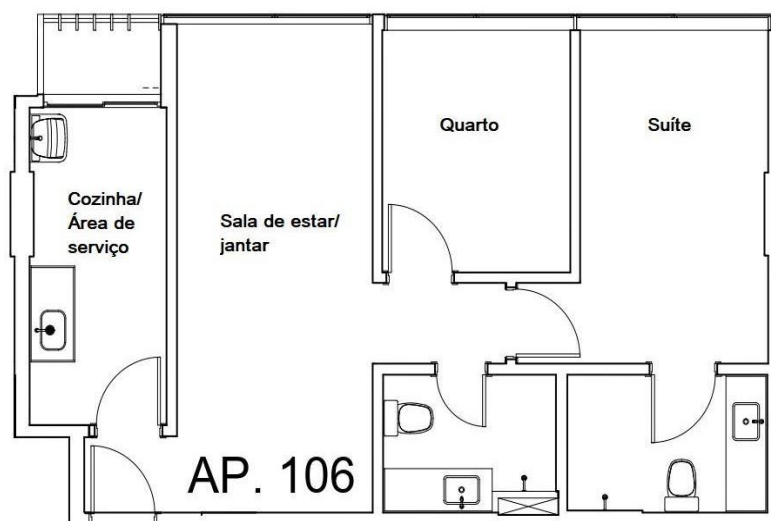
Figura 22 - Planta baixa da unidade 101 do edifício *B*.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

O apartamento 106 do edifício *B* (Figura 23) possui a menor iluminância (698 a 956 lux) entre os analisados, contudo bem acima das referências da NBR 15575. Sua localização central, com janelas em apenas uma fachada, limita a captação de luz natural, especialmente no período da tarde. A profundidade dos ambientes e possíveis obstruções também podem ter influenciado os resultados. Apesar dos valores inferiores, o apartamento 106 ainda possui iluminância adequada para áreas de permanência prolongada. O uso de estratégias para otimizar a iluminação natural, como a aplicação de cores claras e materiais reflexivos, são importantes para o conforto dos moradores (Santos e Ferreira, 2022).

Figura 23 - Planta baixa da unidade 106 do edifício B.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

As diferenças de iluminância entre os apartamentos do edifício B, conforme a Tabela 24, evidenciam então a influência da posição da unidade na edificação, da orientação solar, da geometria dos ambientes e da presença de obstruções. O apartamento 101, com maior área envidraçada e janelas em duas fachadas, apresenta os melhores resultados (765 a 986 lux), enquanto o apartamento 106, com menor área envidraçada e janelas em apenas uma fachada, apresenta os menores valores (698 a 956 lux).

Essa variação na iluminância corrobora as conclusões de Santo e Ferreira (2022), que destacam a influência da posição da unidade e da área envidraçada no desempenho lumínico de edifícios residenciais. A localização em cantos, com janelas em múltiplas fachadas, favorece a captação de luz natural, enquanto a localização central, com janelas em apenas uma fachada, limita a entrada de luz, especialmente em apartamentos com maior profundidade. A orientação solar também influencia na iluminância, com apartamentos voltados para o norte recebendo maior quantidade de luz solar ao longo do dia.

#### 4.2.2 Desempenho térmico

A avaliação do desempenho térmico em edificações é crucial para possibilitar o bem-estar dos usuários, além de contribuir para a eficiência energética e a sustentabilidade. No entanto, a complexidade dos fatores que influenciam o desempenho, como as propriedades dos materiais, as condições climáticas e os hábitos de uso, exige a combinação de diferentes métodos de análise para obter resultados mais precisos e confiáveis.



Corbella e Yannas (2003) destacam que a avaliação do desempenho térmico deve considerar a interação entre diversos fatores, como as características da envoltória da edificação, as condições climáticas e as necessidades dos usuários. A combinação de métodos de análise, como simulações computacionais e medições *in loco*, permite uma compreensão mais ampla e a identificação de soluções para otimizar o desempenho e a eficiência energética.

A NBR 15220, que trata do zoneamento bioclimático brasileiro e das diretrizes construtivas para habitações, ressalta a importância da combinação entre análise teórica, simulação computacional e medições *in loco* para a avaliação do desempenho térmico das edificações.

A Tabela 25 demonstra as temperaturas médias, em °C, no Distrito Federal, no ano de 2023. Pode-se observar que a temperatura mínima ocorreu no mês de julho, correspondente a 10,2°C e a máxima de 34,9°C no mês de novembro de 2023.

Tabela 25 - Temperatura média do ar (°C) no Distrito Federal, em 2023.

Temperaturas	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Média</b>	22,4	22,9	22,5	22,1	19,9	19,4	19,8	22,3	25,3	20,6	25,5	24,5
<b>Máxima</b>	28,9	28,6	30,1	28,9	28,1	28,3	29,4	32,7	34,8	30	34,9	32,1
<b>Mínima</b>	15,9	17,3	15	15,3	11,7	10,5	10,2	11,9	15,8	11,3	16,1	16,9

Fonte: Inmet (2024).

#### 4.2.2.1 Edifício A

As medidas foram coletas no edifício A entre o mês de março e abril, período que segundo dados meteorológicos, foi registrado temperatura máxima de 32,7°C e mínima de 17,4°C em março e máxima de 33,1°C e mínima de 16,8°C em abril de 2024. Nos dias das medições a temperatura ambiente estava muito elevada.

A Tabela 26 apresenta os valores médios de temperatura do ar, em graus Celsius (°C), obtidos nas medições *in loco* realizadas em cinco apartamentos do edifício A (106, 115, 116, 117 e 219). As medições foram realizadas em diferentes dias e horários para capturar as variações de temperatura ao longo do tempo.

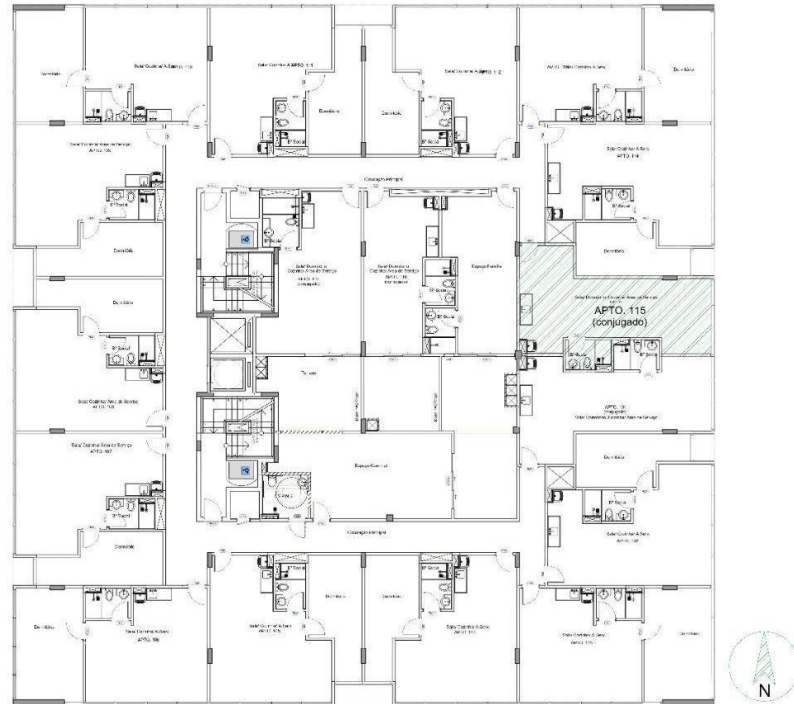
Tabela 26 – Valores médios de temperatura, em C°, do apartamento 106, 115, 116, 117 e 219.

Apto	Ambiente	10-11 h 29/03/23	7-8 h 03/04/23	14-15 h 07/04/23	14-15 h 13/04/23	7-8 h 19/04/23	7-8 h 26/04/23
106 - oeste	Sala/Cozinha/Área de Serviço	30,2	25,1	28,1	30,7	25,6	25,8
	Dormitório	28,6	24,8	29,1	32,8	25,2	25,1
115 - leste	Sala/Dormitório	28,8	23,7	27,9	30,4	24,1	24,1
	Cozinha/Área de Serviço	28,6	23,3	27,6	29,2	24	23,5
116 - leste	Sala/Dormitório	27,4	22,6	26,8	28,9	23,9	23,2
	Cozinha/Área de Serviço	27,9	23,1	25,9	28,6	23,6	23,6
117 - oeste	Sala/Dormitório	27,2	23,5	28,7	32,9	25,2	24,1
	Cozinha/Área de Serviço	27,5	23,2	28,9	30,3	24,6	23,9
219 - sul	Sala/Dormitório	28	24,2	30,8	31,4	25,2	24,7
	Cozinha/Área de Serviço	29,1	25,6	30,4	33,7	26,1	25,8

Ao analisar a Tabela 26 é possível perceber que o apartamento com maior temperatura média foi o 219, com 27,9°C, enquanto o que obteve melhor temperatura média foi o apartamento 115, com 26,2°C.

A Figura 24 demonstra a posição dos apartamentos 115 e 219, os quais possuem, respectivamente, o melhor e pior desempenho na medição *in loco* em relação à sua orientação solar.

Figura 24 - Localização do apartamento 115 e 219 do edifício A.



Planta Baixa - 1º Pavimento



Planta Baixa - 2º Pavimento

Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

O apartamento 219 possui posição mais interna e fachada norte, que em Brasília recebe a maior incidência solar direta ao longo do dia, especialmente durante o verão. Essa incidência solar elevada pode ter contribuído significativamente para o seu aquecimento. A sua posição

pode ter dificultado a ventilação natural, mesmo com a presença de janelas na fachada norte. A ventilação cruzada, estratégia eficiente para o resfriamento passivo de edificações, pode ser comprometida em unidades localizadas em posições mais internas, com menor fluxo de ar.

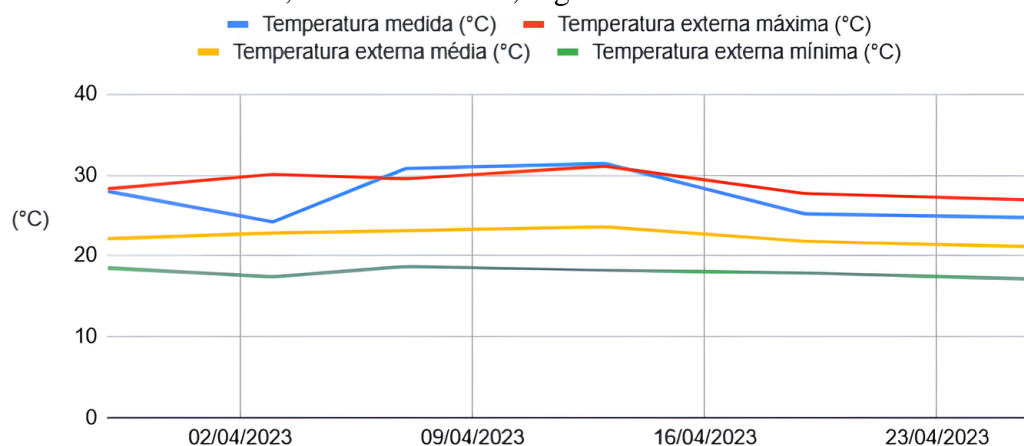
Silva *et al.* (2023) observaram em seu estudo que a ventilação natural é um fator importante no desempenho térmico, e que unidades com ventilação cruzada apresentam temperaturas mais amenas.

Corbella e Yannas (2003) destacam que a orientação solar é um fator crucial no desempenho térmico de edificações, e fachadas voltadas para o norte podem receber grande quantidade de calor, especialmente em latitudes como a de Brasília.

A unidade 115, com fachada leste, recebe sol direto apenas durante a manhã, e com menor intensidade em comparação com o sol da tarde na fachada oeste. Essa menor incidência solar pode ter contribuído para temperaturas mais amenas no apartamento 115. Por estar mais suscetível à ventilação, pode ter se beneficiado da renovação do ar e da remoção do calor do ambiente interno. Mesmo com a ventilação cruzada limitada pela presença de janelas apenas nas fachadas leste, a ventilação natural pode ter contribuído para o desempenho térmico da unidade.

A Figura 25 compara a temperatura medida no apartamento 219 com dados climáticos obtidos pelo INMET em Brasília, no mesmo dia, mostrando que a temperatura interna máxima (Timax) ultrapassou o limite de desempenho mínimo em 4,8°C. Essa divergência pode ser explicada pela alta incidência solar na fachada norte do edifício, combinada com a posição mais interna do apartamento 219, que dificulta a ventilação natural.

Figura 25 - Temperatura medida no apartamento 219 do edifício A e valores da temperatura mínima, média e máxima, segundo dados do INMET.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Vale ressaltar que, no ano de 2023, Brasília apresentou temperaturas pontuais acima de 30°C e ainda temos a baixa umidade relativa do ar em alguns meses, o que pode ocasionar sensação de desconforto também. Conforme destacado por Corbella e Yannas (2003), a orientação solar e a ventilação são fatores cruciais para o desempenho térmico de edificações em climas quentes.

Silva *et al.* (2022) em estudo em Florianópolis, Santa Catarina, que se encontra na zona bioclimática 2, caracterizada por verões amenos e invernos frios, observaram que a orientação solar e a área de janelas são fatores importantes que influenciam a temperatura interna dos ambientes. As unidades voltadas para o oeste tendem a apresentar temperaturas mais elevadas, enquanto a presença de elementos de proteção solar contribui para a redução da temperatura interna.

Corbella e Yannas (2003) destacam a importância da ventilação natural e da orientação solar para o conforto térmico. No caso do apartamento 219, a maior incidência solar na fachada norte e a ventilação limitada podem ter contribuído para o desempenho inferior, enquanto no apartamento 115, a menor incidência solar na fachada leste e a ventilação natural podem ter favorecido o desempenho térmico.

#### 4.2.2.2 Edifício B

A Tabela 27 apresenta os valores médios de temperatura do ar em graus Celsius (°C) obtidos nas medições *in loco* realizadas em cinco apartamentos do edifício B (101, 102, 105, 106 e 211). As medições foram realizadas em diferentes dias e horários, buscando capturar as variações de temperatura ao longo do tempo e avaliar o desempenho térmico das unidades

Tabela 27 – Valores médios de temperatura, em C°, do apartamento 101, 102, 105, 106 e 211.

Apto	Ambiente	0-11 h 04/04/24	7-8 h 05/04/24	14-15 h 09/04/24	14-15 h 10/04/24	7-8 h 11/04/24	7-8 h 12/04/24
101 Norte/Oeste	Sala	26,2	26,1	28	28,5	26,5	24,8
	Cozinha/Área de Serviço	25,1	25,7	28,2	27,7	26,2	24,9
	Suíte	25,8	24,9	27,1	27,4	26,2	25,1
	Quarto 01	25,5	25,8	27,8	28,1	24,3	24,8
	Quarto 02	26,1	26,3	27,5	27,3	26,4	26,4
102 - Norte	Sala de Estar/Jantar	26,3	26,9	27,9	27,4	25,9	24,8

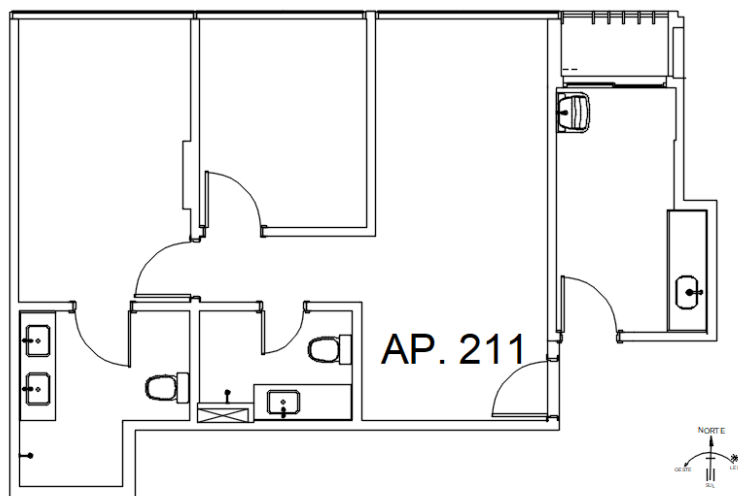
	Cozinha/Área de Serviço	25,6	26,1	28,8	27,2	26,8	24,9
	Suíte	25,6	25,3	28,3	27,6	26,5	25,2
	Quarto 01	25,7	26,2	28,5	27,7	24,4	24,2
	Quarto 02	26,7	26,5	27,8	28,3	25,7	25,1
<b>105 - Norte</b>	Sala de estar/jantar	24,2	25,1	27,8	27,4	25,2	25,1
	Cozinha/Área de Serviço	24,6	24,1	27,5	27,5	25,9	24,7
	Suíte	24,7	25,1	28,1	28,3	24,8	24,2
	Quarto	25,6	25,4	28,2	27,1	26,1	25,5
<b>106 - Norte</b>	Sala de estar/jantar	25,8	26,3	27,7	28,5	26,3	24,2
	Cozinha/Área de Serviço	25,5	25,4	28,3	27,7	26	24,7
	Suíte	26,1	24,6	27,3	27,4	26,6	25,3
	Quarto	25,7	25,9	27,6	28,1	24,5	24,1
<b>211 - Norte</b>	Sala de estar/jantar	25,7	25,3	27,3	27,8	26,1	26,1
	Cozinha/Área de Serviço	26,1	25,8	28,1	28,6	26,4	24,1
	Suíte	25,4	25,9	27,8	27,9	25,8	24,3
	Quarto	26,1	26	27,5	28,3	28,9	25,7

Pode-se observar diferenças entre as unidades 211 e 105, ambas orientadas para a fachada norte, mas o apartamento 211 registrou a maior temperatura média (26,5°C), enquanto o 105 apresentou a menor temperatura média (25,9°C). Essa variação, embora muito pequena, indica que a posição e as características arquitetônicas de cada unidade influenciaram o desempenho térmico, mesmo com a mesma orientação solar.

A maior temperatura média do apartamento 211 pode ser explicada por alguns fatores, como a localização em pavimento mais alto, que aumenta a exposição à radiação solar e pode elevar a temperatura interna, especialmente em dias quentes. Corbella e Yannas (2003) destacam a importância do isolamento térmico da cobertura para evitar o ganho de calor excessivo, principalmente em unidades localizadas nos últimos pavimentos.

A planta baixa do apartamento 211 (Figura 26) mostra janelas maiores em comparação com o apartamento 105. Janelas maiores permitem maior entrada de luz natural, mas também aumentam o ganho de calor, especialmente em fachadas voltadas para o norte, que recebem insolação durante a maior parte do dia em Brasília. Silva *et al.* (2022) observaram que a área de janelas influencia a temperatura interna dos ambientes, e que unidades com maior área envidraçada tendem a apresentar temperaturas mais elevadas.

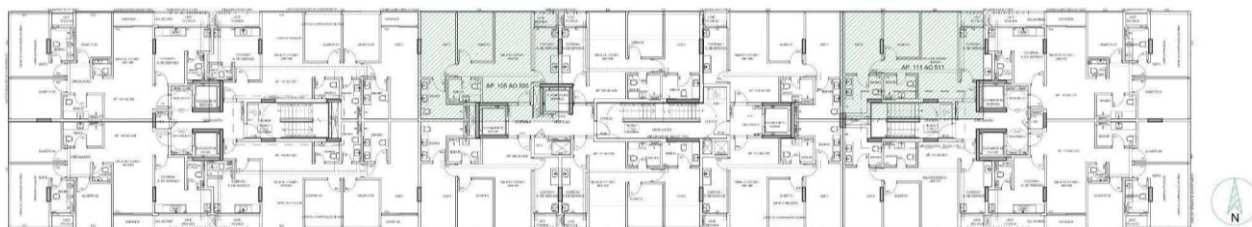
Figura 26 - Planta baixa do apartamento 211 do edifício B.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

A menor temperatura média do apartamento 105 pode ser justificada pela localização em pavimento mais intermediário, o que reduz a exposição à radiação solar e contribui para temperaturas internas mais amenas. O apartamento 105 possui janelas menores em comparação com o apartamento 211, o que pode ter limitado o ganho de calor. A Figura 27 apresenta a localização dos apartamentos em relação ao edifício B.

Figura 27 - Localização dos apartamentos 105 e 211 na planta baixa geral do edifício B.



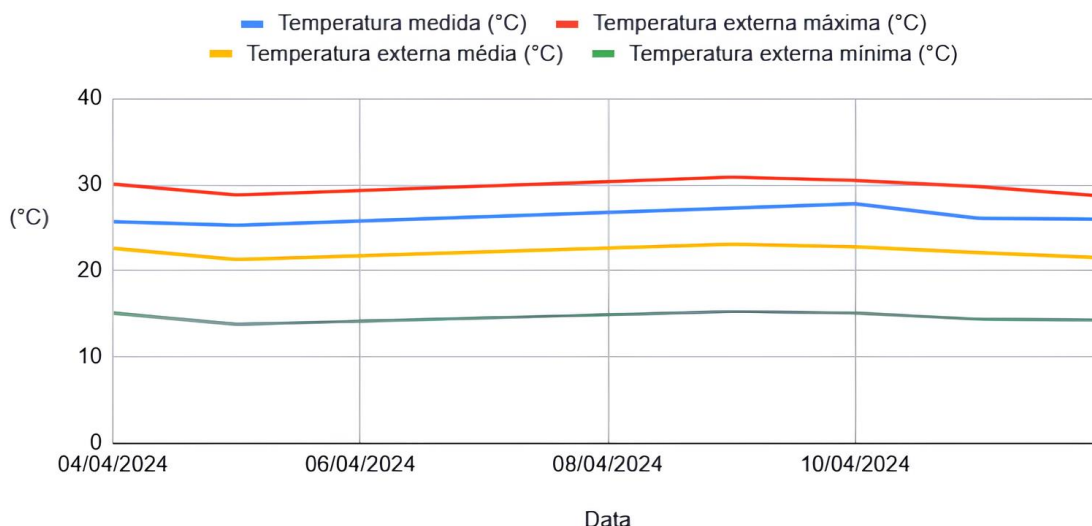
Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Apesar das diferenças de temperatura entre os apartamentos 211 e 105, ambos atendem aos requisitos de desempenho térmico da NBR 15575. As medições *in loco* demonstraram que as temperaturas nos apartamentos do edifício B estão dentro da faixa de desempenho térmico definida pela norma de desempenho.

Foram utilizados brises metálicos móveis na fachada oeste do edifício, o que proporciona sombreamento e reduz a incidência solar direta nos ambientes internos. A combinação de brises móveis e vidros de alta performance contribui para um menor consumo de energia com climatização, uma vez que reduz a necessidade de resfriamento artificial nos períodos mais quentes do ano.

A Figura 28 apresenta a temperatura medida no apartamento 211 e a temperatura mínima, média e máxima segundo dados do INMET em Brasília. Pode-se observar que a temperatura medida esteve entre a faixa máxima e média apresentada pelos dados do INMET nos dias da coleta.

Figura 28 - Temperatura medida no apartamento 211 do edifício *B* e valores da temperatura mínima, média e máxima, segundo dados do INMET.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

A análise comparativa do desempenho térmico dos apartamentos evidenciou a influência da arquitetura e da posição das unidades, mesmo com a mesma orientação solar. A área de janelas, a ventilação natural e a localização no edifício foram fatores importantes considerados no projeto de edificações residenciais.

### 4.2.3 Desempenho acústico

#### 4.2.3.1 Edifício A

Para avaliar o desempenho acústico esta pesquisa utilizou medições de nível de pressão sonora em diferentes pontos dos ambientes internos, utilizando um decibelímetro. As medições ocorreram entre os dias 29 de março e 26 de abril de 2023, em diferentes horários, buscando capturar as variações do nível de ruído ao longo do dia.

A Tabela 28 apresenta os valores médios de acústica em decibéis (dB) para cada apartamento. A análise desses dados permitiu avaliar o desempenho acústico do edifício *B* em relação aos requisitos da NBR 15575.



Tabela 28 – Valores médios de acústica, em dB, do apartamento 106, 115, 116, 117 e 219.

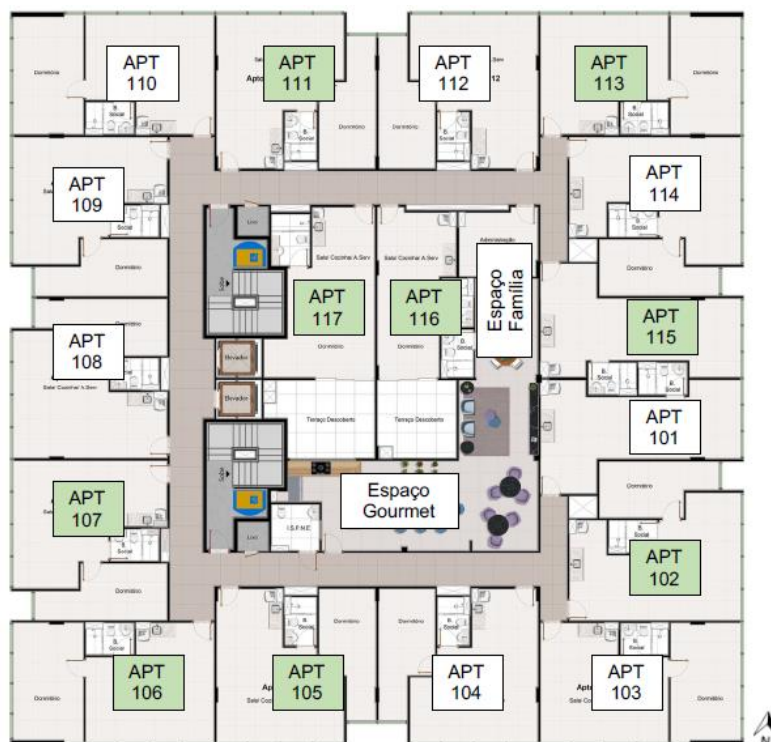
Apto	Ambiente	10-11 h 29/03/23	7-8 h 03/04/23	14-15 h 07/04/23	14-15 h 13/04/23	7-8 h 19/04/23	7-8 h 26/04/23
106	Sala/Cozinha/Área de Serviço	25,8	21,3	25,4	24,6	22,1	20,19
	Dormitório	27,3	23,2	26,9	26,1	23,5	23,1
115	Sala/Dormitório	26,5	22,3	26,1	25,8	24,1	23,7
	Cozinha/Área de Serviço	27,5	23,3	27,6	26,3	22,3	22,8
116	Sala/Dormitório	26,7	22,9	27,2	26,4	23,6	24,1
	Cozinha/Área de Serviço	26,2	23,1	27,4	25,8	22,9	21,6
117	Sala/Dormitório	26,1	24,2	26,8	26,3	23,6	24,3
	Cozinha/Área de Serviço	25,8	21,6	25,3	26,5	20,4	21,4
219	Sala/Dormitório	27,7	22,5	26,3	26,6	22,5	23,1
	Cozinha/Área de Serviço	26,5	23,4	26,1	25,8	23,8	23,6

A média dos resultados obtidos em todas as unidades foi inferior ao limite de 80 decibéis determinados pela NBR 15575.

De acordo com Souza *et al.* (2021), é importante considerar o isolamento acústico no projeto de edificações, visando atenuar a transmissão de ruídos entre os ambientes e garantir um ambiente interno adequado aos usuários.

O apartamento 106 se destaca com os menores valores de decibéis, com variação entre 22,8 dB e 27,3 decibéis na fachada oeste. Por outro lado, o apartamento 115, localizado na fachada leste, apresentou os maiores valores de decibéis, variando entre 22,3 dB e 27,5 decibéis. A proximidade com a rua e a ausência de elementos que bloqueiem o ruído podem explicar a variação de desempenho acústico entre os apartamentos. Os demais apartamentos (116, 117 e 219) apresentaram valores intermediários de decibéis, variando entre 22,5 e 27,7 decibéis. A Figura 29 demonstra a planta do pavimento tipo do edifício A para verificação do posicionamento dos apartamentos mencionados.

Figura 29 - Planta pavimento tipo Edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Sorgato *et al.* (2014), em seu estudo sobre desempenho acústico de fachadas, observaram que a orientação das fachadas e a presença de elementos de proteção solar influenciam os níveis de ruído interno. Fachadas voltadas para áreas com maior tráfego de veículos tendem a apresentar maior nível de ruído, enquanto a presença de vegetação e outros elementos podem atenuar o ruído externo.

A arquitetura das plantas também influencia o desempenho acústico, como menciona Bistafa (2018). A localização dos quartos em relação à rua e às áreas comuns do edifício pode ter afetado o desempenho acústico, já o uso de materiais com propriedades acústicas adequadas, como forros e revestimentos absorventes, pode ter melhorado.

As medições *in loco* do edifício A demonstram que o nível de ruído está dentro dos limites aceitáveis para ambientes residenciais, conforme recomendações técnicas da norma de desempenho. A análise, em conjunto com a análise do desempenho térmico e lumínico, contribuiu para a compreensão da qualidade ambiental do edifício A.

#### 4.2.3.2 Edifício B

As medições ocorreram entre os dias 04 de abril e 12 de abril de 2024, em diferentes horários para capturar as variações do nível de ruído ao longo do dia. A Tabela 29 apresenta os valores médios de nível de pressão sonora em decibéis (dB). A análise desses dados permitiu avaliar o desempenho acústico do edifício B em relação aos requisitos da NBR 15575 e identificar possíveis problemas na isolamento acústica dos apartamentos.

Tabela 29 – Valores médios de acústica, em dB, do apartamento 101, 102, 116, 105 e 211.

Apto	Ambiente	10-11 h 04/04/24	7-8 h 05/04/24	14-15 h 09/04/24	14-15 h 10/04/24	7-8 h 11/04/24	7-8 h 12/04/24
101	Sala de estar/jantar	25,1	25,1	25,3	25,6	23,1	24,1
	Cozinha/Área de Serviço	25,4	24,4	25,1	24,1	23,5	23,2
	Suíte	25,7	23,7	24,9	25,1	23,2	23,6
	Quarto 01	25,2	24,8	25,1	24,3	24,2	23,5
	Quarto 02	25,6	23,5	25,6	24,2	23,6	23,1
102	Sala de estar/jantar	26,1	24,1	25,3	26,4	23,2	25,4
	Cozinha/Área de Serviço	25,7	24,9	24,1	26,8	23,7	23,5
	Suíte	25,3	23,6	24,8	25,6	23,9	24,2
	Quarto 01	24,7	25,5	24,4	26,7	25,6	23,2
	Quarto 02	24,1	24,8	24,1	24,5	25,3	23,5
105	Sala de estar/jantar	25,7	23,6	23,6	24,7	25,8	23,7
	Cozinha/Área de Serviço	25,2	22,1	23,5	25,6	25,1	24,7
	Suíte	24,8	23,6	24,4	25	24,5	25,6
	Quarto	25,9	26,2	25,6	25,8	24,7	25,7
106	Sala de estar/jantar	24,7	25,1	25,4	25,3	24,9	25,1
	Cozinha/Área de Serviço	23,8	25,8	25,5	24,3	23,8	24,6
	Suíte	24,4	24,7	22,8	24,7	25,6	24,7
	Quarto	23,1	25,1	23,1	25,7	25,1	24,4
211	Sala de estar/jantar	26,1	25,6	23,6	26,1	26,4	25,6
	Cozinha/Área de Serviço	25,7	25,8	24,6	25,1	24,5	25,9
	Suíte	25,3	24,4	24,2	24,6	26,1	26,1
	Quarto	24,9	24,6	26,4	25,6	24,6	24,1

O apartamento 106 apresentou os menores valores de dB, variando entre 23,1 dB e 25,4 dB. Sua localização central no edifício e a presença de janelas apenas na fachada norte podem

ter contribuído para o bom desempenho acústico. A fachada norte, em geral, recebe menos ruído externo em comparação com as fachadas voltadas para a rua.

Por outro lado, o apartamento 102 apresentou os maiores valores de dB, variando entre 24,1 dB e 26,8 dB. Sua localização na fachada leste e a presença de janelas voltadas para a área de lazer podem ter contribuído para o maior nível de ruído. Áreas de lazer, com a presença de pessoas e atividades, podem gerar ruídos que impactam os apartamentos próximos. Os demais apartamentos (101, 105 e 211) apresentaram valores adequados de dB, variando entre 23,2 dB e 26,4 dB. A figura 24 demonstra a planta do pavimento tipo do edifício *B* para que se visualize a configuração de cada apartamento citado na análise.

Sorgato *et al.* (2014), em seu estudo sobre desempenho acústico de fachadas, observaram que a orientação das fachadas e a presença de elementos de proteção solar influenciam os níveis de ruído interno. Fachadas voltadas para áreas com maior tráfego de veículos tendem a apresentar maior nível de ruído, enquanto a presença de vegetação e outros elementos podem atenuar o ruído externo.

As medições no edifício *B* indicam que o nível de ruído está dentro dos limites aceitáveis para ambientes residenciais. Em áreas urbanas densas, como o Setor Noroeste de Brasília, a poluição sonora pode ser um fator crítico que afeta a qualidade de vida dos moradores (Bistafa, 2018). Ruídos provenientes do tráfego de veículos, de atividades comerciais e de áreas de lazer podem comprometer o conforto acústico dos ambientes internos, causando estresse, dificuldade de concentração e problemas de saúde.

### **4.3 Simulação computacional**

A simulação computacional, ferramenta essencial no projeto de edificações, permite prever o desempenho térmico, lumínico e acústico. Na presente pesquisa, os dados de simulação, fornecidos pela construtora, são resultado do trabalho de escritórios especializados. Essa prática garante a confiabilidade dos resultados, uma vez que profissionais com expertise elaboraram as simulações (Frota e Schiffer, 2003).

### 4.3.1 Simulação do desempenho lumínico

#### 4.3.1.1 Simulação lumínica do edifício A

As unidades com melhor desempenho luminoso do edifício A na simulação computacional foram a 106 e a 113, apresentando desempenho superior em todos os cômodos. Tais unidades encontram-se na fachada sul e norte, respectivamente, ou seja, lados opostos do edifício, contudo possuem a mesma planta baixa, conforme apresentado na Figura 30, o que pode induzir ser a opção mais favorável no quesito lumínico.

Figura 30 - Planta baixa dos apartamentos 106 e 113 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Obteve-se também, desempenho lumínico superior na sala e dormitório 2 das unidades 105 e 107, na sala e dormitórios 1 e 2 do apartamento 111, na sala e dormitório dos apartamentos 115, 116 e 215 e na cozinha/área de serviço e dormitório do apartamento 219.

Enquanto as unidades 115, 116, 117, 215 e 218 apresentaram o menor desempenho luminoso na cozinha/área de serviço nas simulações, sendo as unidades 115 e 215 as que possuem planta mais profunda e um recorte na entrada que dificulta a entrada da luz natural, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Planta baixa dos apartamentos 115 e 215 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Considerou-se a iluminância, em lux, segundo o relatório técnico elaborado pela empresa consultora da simulação com variação entre insatisfatório a superior, sendo utilizada uma escala com cores (Ambiente eficiente, 2023). Os valores, representados por cores, classificam como desempenho insatisfatório a iluminância abaixo de 60 lux, com cores vermelhas; de 60 a 89 lux o desempenho mínimo, na cor amarelo; de 90 a 119 lux desempenho intermediário, na cor verde intensa; e maior ou igual a 120 lux para desempenho superior, conforme apresentado na Figura 32.

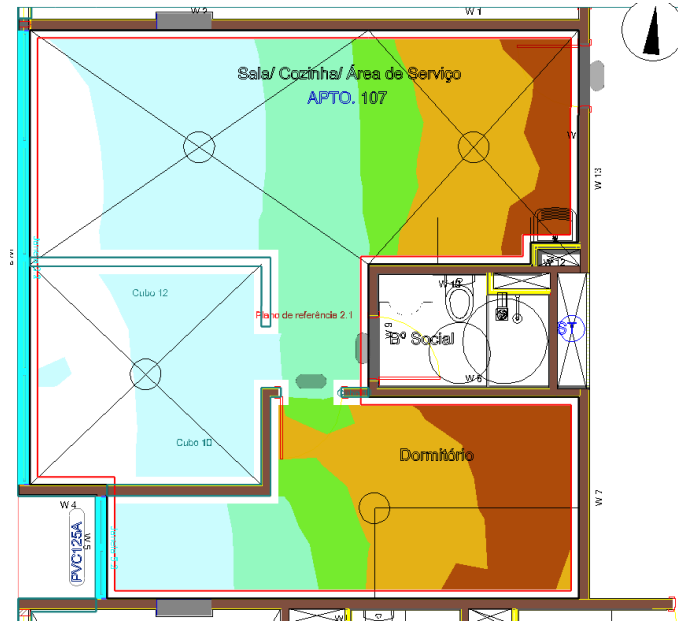
Figura 32 - Tabela de referência por cores da iluminância, em lux.



Fonte: Ambiente eficiente (2023).

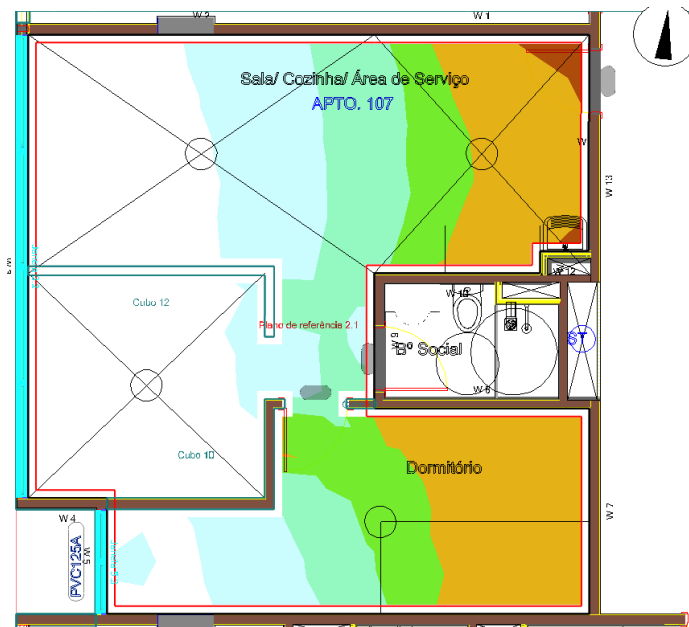
O resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 do edifício A é demonstrado nas Figuras 33 a 36, baseado em simulações em diferentes horários no dia 23 de abril às 9h30min e às 15h30min e no dia 23 de outubro às 9h30min e às 15h30min, conforme apresentado no relatório técnico realizado pela empresa especializada (Ambiente eficiente, 2023).

Figura 33 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de abril às 9h30min, segundo a simulação computacional.



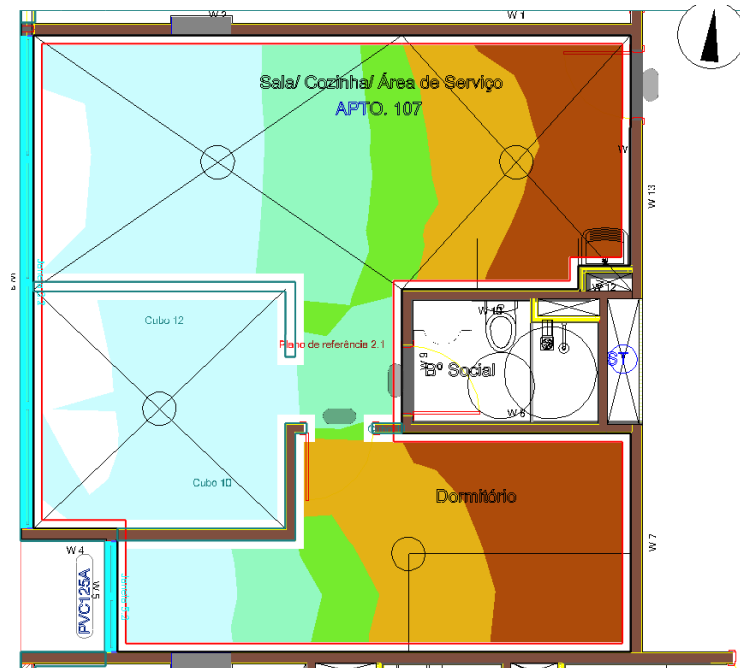
Fonte: Ambiente eficiente (2023).

Figura 34 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de abril às 15h30min, segundo a simulação computacional.



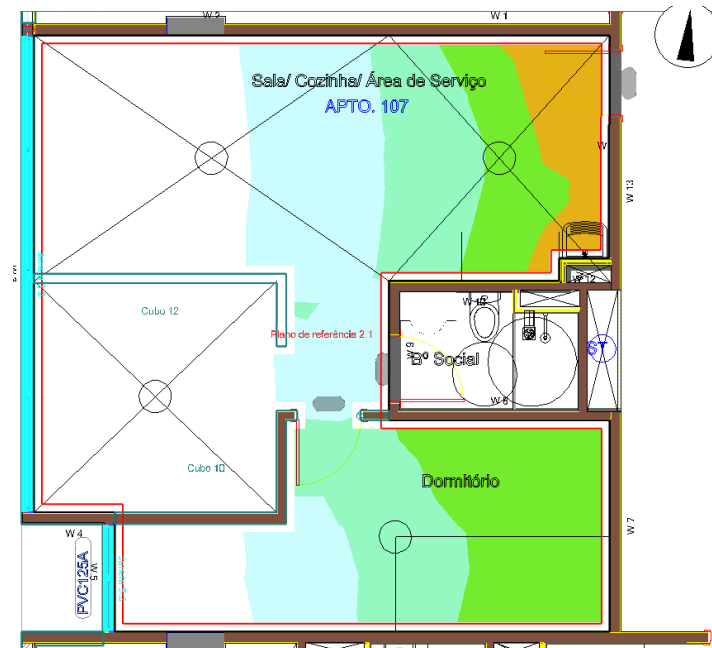
Fonte: Ambiente eficiente (2023).

Figura 35 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de outubro às 9h30min, segundo a simulação computacional.



Fonte: Ambiente eficiente (2023).

Figura 36 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 107 no dia 23 de outubro às 15h30min, segundo a simulação computacional.



Fonte: Ambiente eficiente (2023).



Pode-se observar na unidade 107 que a cozinha e o dormitório 2 no período da manhã, tanto no mês de abril como em outubro, foram os cômodos que apresentaram desempenho mínimo, o que provavelmente ocorreu pelo fato de serem mais profundos (Figura 37).

Figura 37 - Planta baixa do apartamento 107 do edifício A.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

A Tabela 30 demonstra o desempenho lumínico do apartamento 107 segundo os critérios da norma NBR 15575, segundo a simulação computacional realizada (Ambiente eficiente, 2023).

Tabela 30 - Desempenho lumínico do apartamento 107 segundo os critérios da norma NBR 15575 de acordo com a simulação computacional.

Unidade/ Ambiente		Iluminância no centro do ambiente				Nível atendido
		23/04 09h30min	23/04 15h30min	23/10 09h30min	23/10 15h30min	
107	Cozinha/AS	DESEMPENHO MÍNIMO	DESEMPENHO MÍNIMO	DESEMPENHO MÍNIMO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO MÍNIMO
	Sala	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR
	Dormitório 01	DESEMPENHO MÍNIMO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO MÍNIMO	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO MÍNIMO
	Dormitório 02	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR

LEGENDA:  DESEMPENHO SUPERIOR  DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO  DESEMPENHO MÍNIMO  DESEMPENHO INSATISFATÓRIO

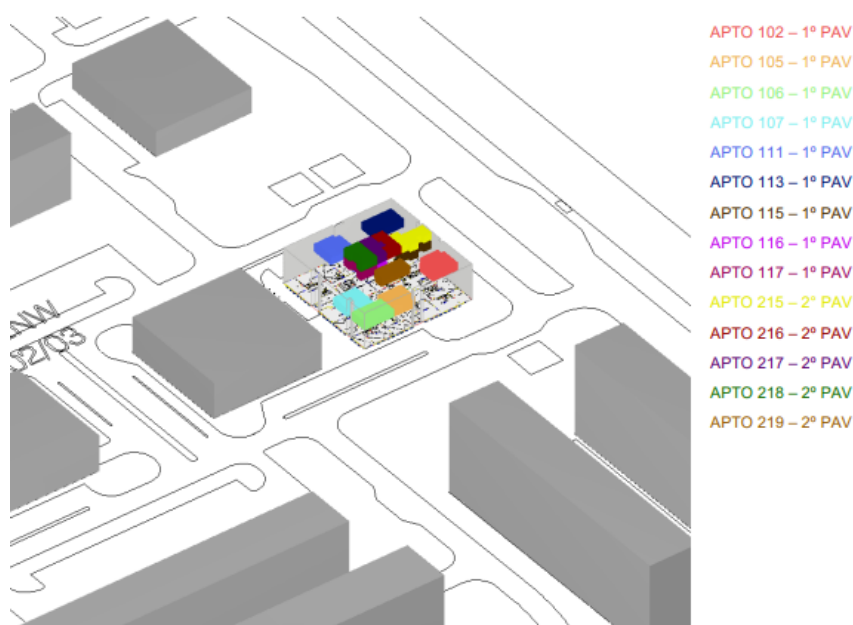
Fonte: Ambiente eficiente (2023).

O edifício A possui unidades de um e dois quartos, contudo unidades de um quarto atualmente só são permitidas no bairro nesse tipo de projeção quadrada, com 30 metros, que são de uso misto. Ela possui recuo de 4 metros no pavimento térreo, formando as galerias de lojas, com gabarito de 11,5 metros de altura que possibilita a execução de térreo, sobreloja e mais 2 pavimentos. Os apartamentos ficam no 1º e 2º pavimento, atendendo a demanda por este tipo de moradia, não contemplada nas superquadras residenciais atuais.

Dessa forma, a configuração do edifício A, influencia os resultados da simulação computacional de desempenho lumínico, principalmente em relação à obstrução da luz natural, à reflexão da luz e à ventilação natural. A simulação deve considerar a configuração urbana e as características dos edifícios vizinhos, como demonstra Glehn e Kos (2021), para gerar resultados mais precisos, principalmente em relação ao sombreamento, à reflectância dos materiais e à ventilação natural.

A Figura 38 demonstra como os edifícios vizinhos foram modelados conforme a planta de urbanismo do setor Noroeste, sendo considerada uma refletância de 40%, correspondendo à média de fechamentos opacos e transparentes (Ambiente eficiente, 2023).

Figura 38 - Perspectiva do edifício A com os apartamentos simulados em destaque.



Fonte: Ambiente eficiente (2023).

O edifício A mostrou que o principal desafio encontrado para alcançar unidades habitacionais bem iluminadas foi a profundidade de algumas plantas, principalmente as que apresentaram algum alargamento nos lados opostos à entrada de luz natural, como nas unidades

115 e 215. Em sua maioria, os cômodos atendem aos níveis intermediário e superior dos critérios da norma de desempenho lumínico.

O edifício A recebeu algumas melhorias em sua planta arquitetônica para minimizar aspectos de iluminação natural. Foi definido um átrio interno buscando criar dutos de luz natural e ainda, a destinação de parte da área construída do primeiro pavimento para a utilização coletiva em um amplo espaço gourmet (Figura 39). Nas unidades, locais com menor luminosidade foram destinados para ambientes que não exigem iluminância, como banheiros e também, criação de terraço descoberto em algumas unidades internas.

Figura 39 - Imagem ilustrativa do espaço gourmet de uso coletivo no edifício A.



Fonte: Imagem obtida no site da empresa (2023).

As unidades localizadas nos cantos, como o apartamento 106, apresentaram melhor desempenho, com iluminância superior em todos os cômodos, o que ocorreu devido a maior área envidraçada e a dupla orientação solar.

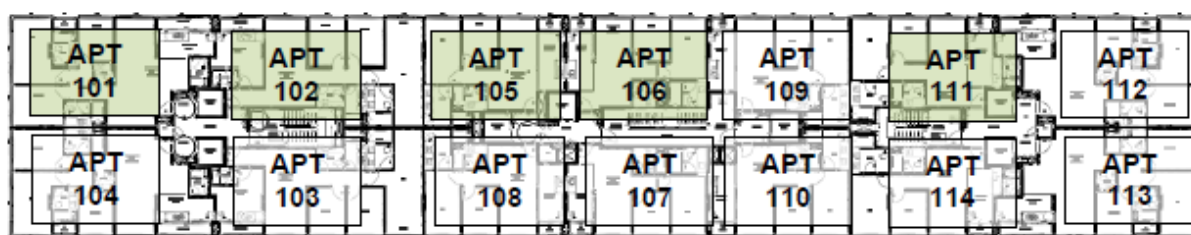
Oliveira *et al.* (2021) destaca a influência da posição da unidade e das áreas envidraçadas nas fachadas. As unidades localizadas no centro do edifício, como o apartamento 116, apresentaram desempenho lumínico inferior, com valores mínimos na cozinha e na área de serviço. Essa variação na iluminância entre as unidades pode ser explicada pela profundidade dos ambientes, pela presença de elementos obstrutores da luz natural e pela orientação solar.

Apesar das variações entre as unidades, a simulação computacional demonstrou que todos os apartamentos do edifício A atendem aos requisitos mínimos de iluminância estabelecidos pela NBR 15575, sendo recomendado nos ambientes com menor luminosidade o uso de estratégias adicionais, como cores claras nos revestimentos.

### 4.3.1.2 Simulação lumínica do edifício *B*

Para análise do desempenho lumínico do edifício, foram simulados os apartamentos 101, 102, 105, 106 e 111 que sumarizam as tipologias disponíveis e apresentam condições menos favoráveis de iluminação natural. A Figura 40 apresenta o desenho esquemático do primeiro pavimento do edifício, destacando as unidades existentes e as simuladas, conforme relatório técnico elaborado pela empresa especializada (Ambiente eficiente, 2022).

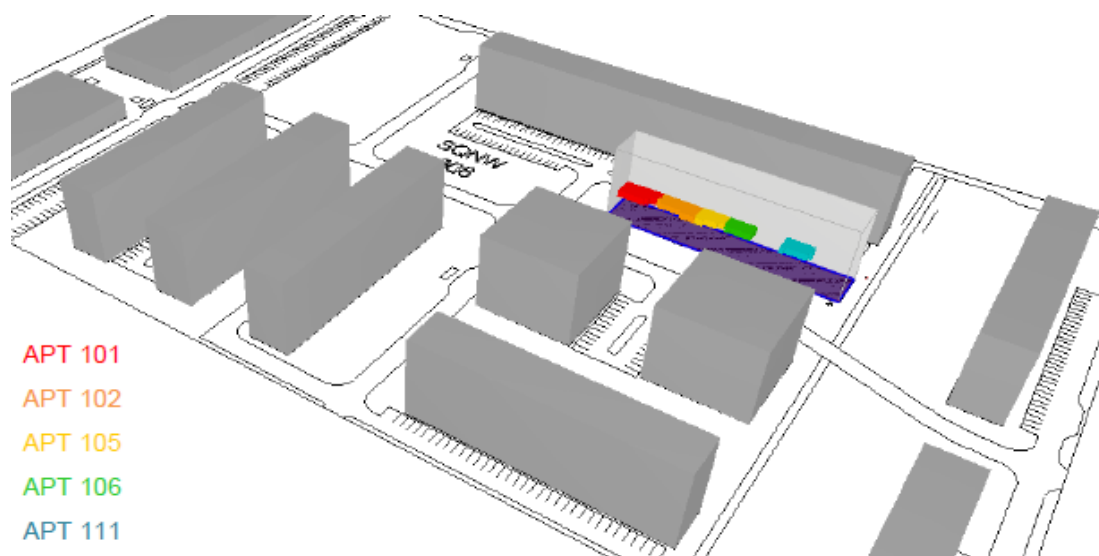
Figura 40 - Planta baixa do edifício *B* com os apartamentos utilizados na simulação lumínica.



Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

A Figura 41 demonstra que os edifícios vizinhos foram modelados conforme a planta de urbanismo do setor Noroeste, sendo considerada uma refletância de 40%, correspondendo à média de fechamentos opacos e transparentes (Ambiente eficiente, 2022).

Figura 41 – Perspectiva do edifício *B* com as edificações vizinhas e as unidades habitacionais analisadas destacadas.



Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

As características dos ambientes internos dos apartamentos simulados como cores dos acabamentos e os tipos de vidro nas quais se baseiam as refletâncias e a transmissão luminosa

foram baseadas nas definições do projeto arquitetônico. Os valores, representados por cores, classificam como desempenho insatisfatório a iluminância abaixo de 60 lux, com cores vermelhas; de 60 a 89 lux o desempenho mínimo, na cor amarelo; de 90 a 119 lux desempenho intermediário, na cor verde intensa; e maior ou igual a 120 lux para desempenho superior, conforme apresentado na Figura 42.

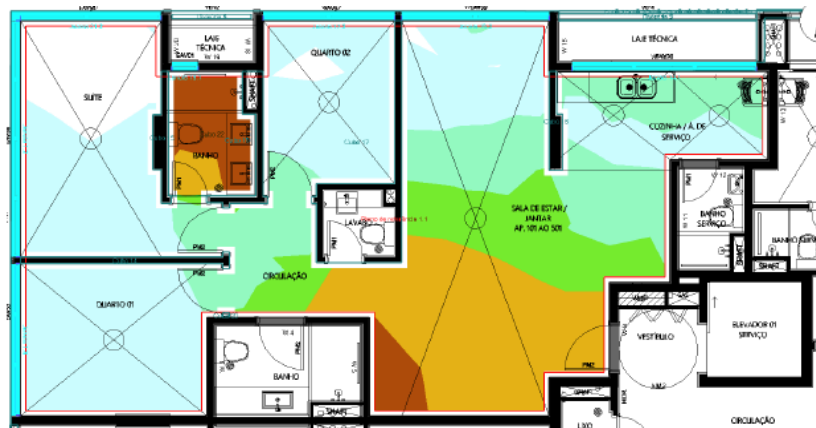
Figura 42 - Tabela de referência por cores da iluminância, em lux.



Fonte: Ambiente eficiente (2022).

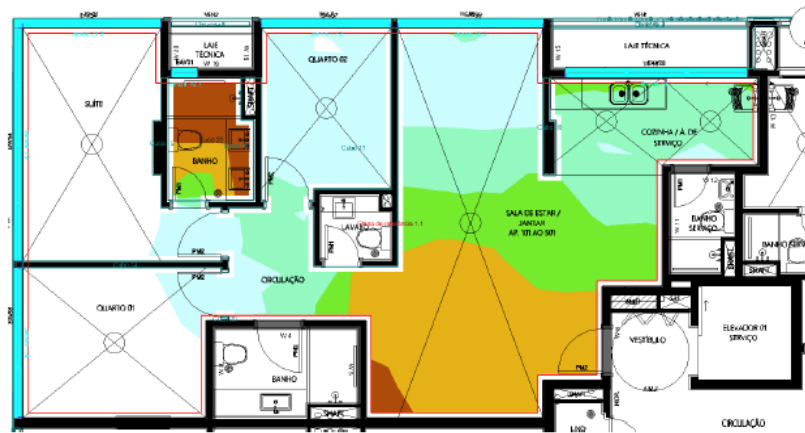
O resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 é demonstrado nas figuras 43 a 46, com medições em diferentes horários no dia 23 de abril às 9h30min e às 15h30min e no dia 23 de outubro às 9h30min e às 15h30min, conforme apresentado no relatório técnico elaborado pela empresa especializada (Ambiente eficiente, 2022).

Figura 43 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de abril às 9h30min, segundo a simulação computacional.



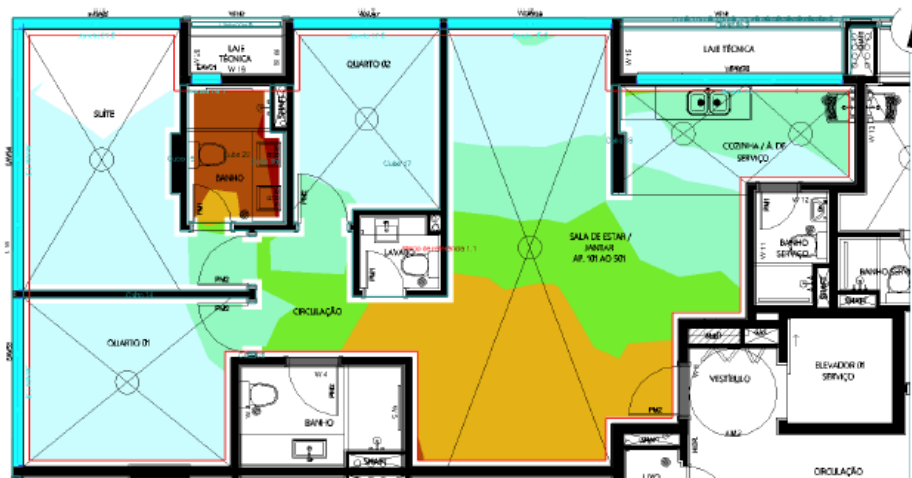
Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

Figura 44 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de abril às 15h30min, segundo a simulação computacional.



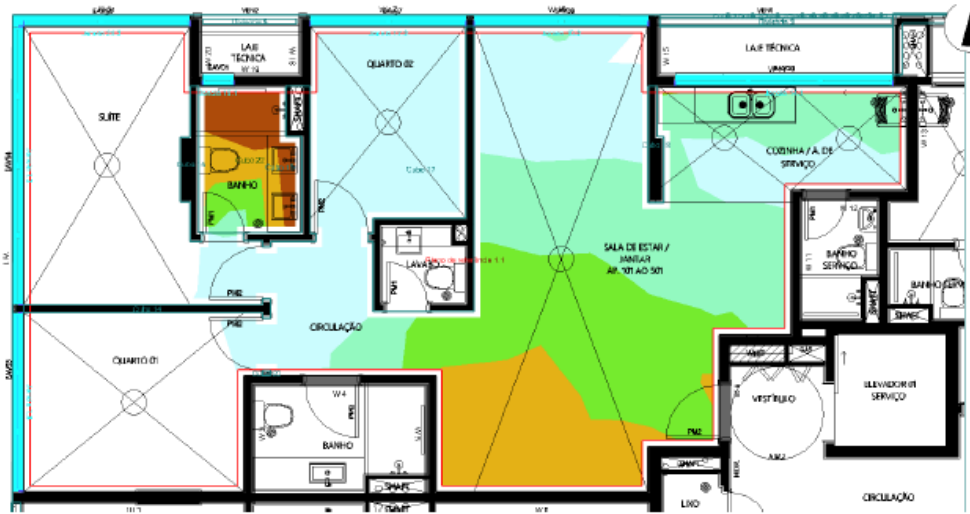
Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

Figura 45 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de outubro às 9h30min, segundo a simulação computacional.



Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

Figura 46 - Resultado do desempenho lumínico do apartamento 101 no dia 23 de outubro às 15h30min, segundo a simulação computacional.



Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

Observa-se que, no apartamento 101, apenas na parte inferior no canto da sala ocorreu desempenho intermediário no período da manhã e à tarde no mês de abril, todos os demais cômodos desta unidade apresentaram desempenho superior. A Tabela 31 apresenta os resultados da simulação lumínica da unidade 101 e demonstra que a maioria dos ambientes tiveram desempenho lumínico superior.

Tabela 31 - Desempenho lumínico do apartamento 101 segundo os critérios da norma NBR 15575, segundo a simulação computacional.

APT/ Ambiente		Iluminância no centro do ambiente				Nível atendido
		23/04 09h30min	23/04 15h30min	23/10 09h30min	23/10 15h30min	
101	Sala de estar/ jantar	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO	DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO
	Cozinha	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR
	Área de Serviço	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR
	Suíte	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR
	Quarto 01	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR
	Quarto 02	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR	DESEMPENHO SUPERIOR

LEGENDA:  DESEMPENHO SUPERIOR  DESEMPENHO INTERMEDIÁRIO  DESEMPENHO MÍNIMO  DESEMPENHO INSATISFATÓRIO

Fonte: Ambiente Eficiente (2022).

No edifício *B* todas as unidades alcançaram o desempenho mínimo através das simulações computacionais realizadas, segundo os requisitos de iluminância da NBR 15575. Nos apartamentos 101 e 102, a cozinha, a área de serviço, a suíte e os quartos 01 e 02 atendem ao nível superior de iluminação natural e a sala de estar/jantar apresenta nível intermediário.

No apartamento 105, a área de serviço, a suíte e o quarto atendem ao nível superior, a sala de estar/jantar demonstra nível intermediário e a cozinha apresenta nível mínimo. No apartamento 106, todos os ambientes atendem ao nível superior, exceto a cozinha que obteve nível mínimo. No apartamento 111, a sala de estar/jantar, a suíte e o quarto atendem ao nível superior e a área de serviço apresenta nível intermediário, já a cozinha apresenta nível mínimo.

A geometria dos ambientes e a orientação solar influenciaram nos resultados, sendo encontrado melhor desempenho nas fachadas norte e oeste, principalmente no período da tarde. Por ser uma projeção retangular, as unidades do meio não possuem a mesma entrada de luz que as dos cantos e há maior obstrução do céu em virtude dos edifícios vizinhos. Quanto à profundidade das dependências, encontram-se salas e quartos com quase 5 metros de profundidade. Nas cozinhas, os obstáculos foram as lajes técnicas, situadas na frente das janelas e as torres de circulação vertical para fora da projeção, que provocam sombreamento externo, sendo utilizado vidro incolor nas janelas internas, por possuir maior transmissão de luz (Ambiente eficiente, 2022).

#### **4.3.2 Simulação do desempenho térmico**

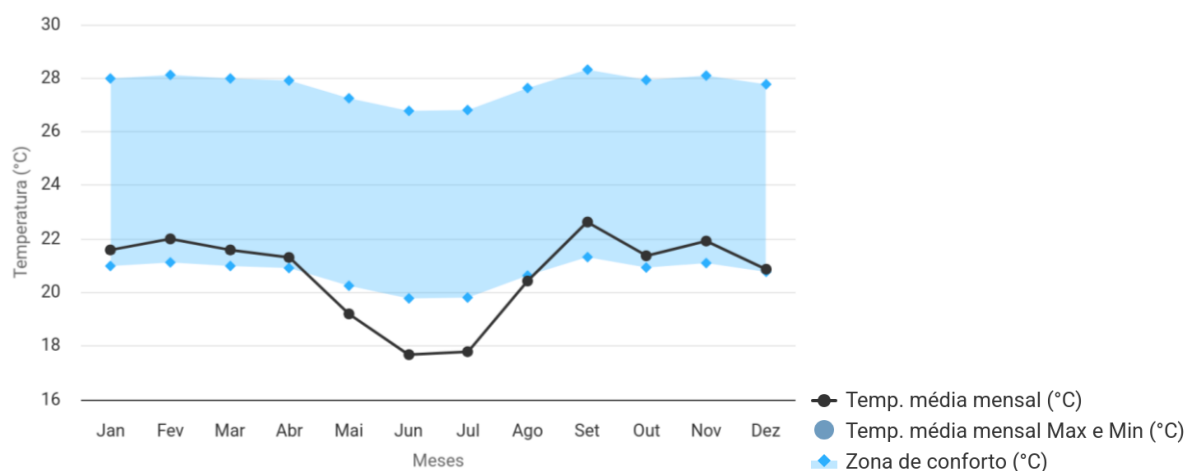
Buscou-se avaliar o desempenho térmico nas edificações em Brasília, considerando sua temperatura em alguns períodos mais quentes do ano. A sensação de conforto térmico é subjetiva e depende da satisfação individual com o ambiente, como define a ASHRAE 55 (2013).

O modelo adaptativo, que considera fatores físicos e psicológicos na percepção térmica, torna-se relevante para definir a zona de conforto. Givoni (1992) ressalta a capacidade humana de se adaptar ao ambiente, o que implica em limites de conforto variáveis, conforme a região e o usuário.

A Figura 47 destaca a temperatura média anual de Brasília em 2023 segundo o INMET, representada pela linha preta e a zona de conforto ideal, em azul, com base nos conceitos de Givoni (1992) e a norma ASHRAE 55 (2013).



Figura 47 - Gráfico da temperatura, em °C, em Brasília e a zona de conforto ideal.



Observa-se que a temperatura média se manteve dentro da zona de conforto durante a maior parte do ano, exceto entre maio a julho, quando a temperatura se aproxima do limite inferior da zona de conforto.

#### 4.3.2.1 Simulação térmica do edifício A

As unidades 210, 209 e 206 foram simuladas para o verão, e as unidades 203 e 204 no inverno conforme relatório de desempenho térmico realizado pela empresa especializada, sendo ilustrado na Figura 48 em vermelho as unidades simuladas no verão e em azul as unidades simuladas no inverno (Ambiente eficiente, 2023).

Figura 48 - Apartamentos analisados para o período do verão (em vermelho) e para o inverno (em azul) no edifício A.



Fonte: Ambiente Eficiente (2023).

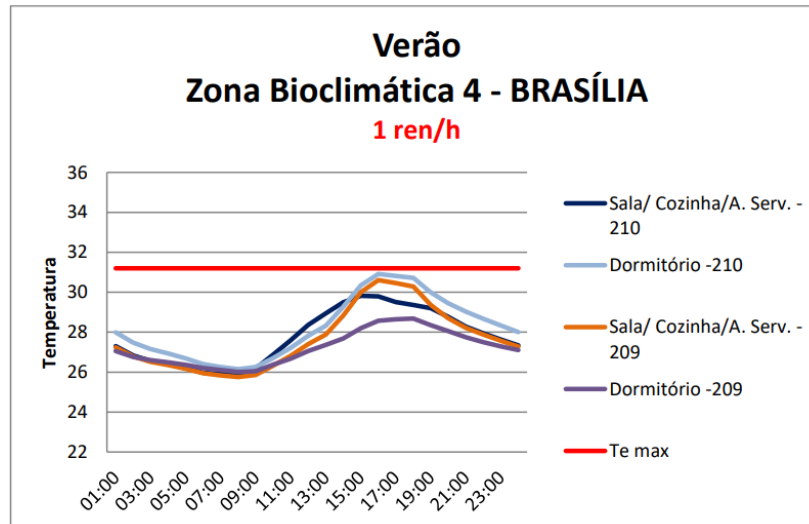
De acordo com a NBR 15220-2, a absorptância solar é obtida pelo quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície, e os valores de absorptância para radiação solar para pintura são obtidos na NBR 15220. O uso de materiais construtivos em cores claras apresenta menor coeficiente de absorptância solar, sendo a cor branca correspondente a 0,2 e a cor amarela a 0,3, o que demonstra que estas cores são mais favoráveis para locais onde o desempenho térmico possa ser crítico.

Os resultados da simulação computacional demonstraram que a temperatura operativa nos ambientes do apartamento 210 ultrapassaram o limite superior durante o dia, indicando a necessidade de estratégias para reduzir o ganho de calor e melhorar o conforto térmico. No apartamento 209, as temperaturas se mantiveram abaixo do limite na maior parte do tempo, com exceção de alguns horários no final da tarde. Essa diferença de desempenho entre os apartamentos pode ser explicada pela variação na orientação solar, na área de janelas e na presença de elementos de proteção solar.

Para alcançar resultados satisfatórios foram propostas mudanças no relatório até atingir os valores desejados. A Figura 49 apresenta resultados satisfatórios da simulação computacional do desempenho térmico das unidades 209 e 210 no verão, sendo que a linha

vermelha representa a temperatura considerada como limite superior de conforto pela norma NBR 15220 para a zona bioclimática 4, correspondente a 31°C.

Figura 49 - Perfil de temperaturas das zonas dos apartamentos 209 e 210 por simulação computacional durante o dia típico de verão com 1 ren/h.



Fonte: Ambiente Eficiente (2023).

A simulação computacional indicou a necessidade de aumentar a área de bloqueio na fachada noroeste, criando maior altura do peitoril interno para barreira solar.

Para a modelagem da envoltória do edifício foram considerados as propriedades térmicas de cada material, como condutividade térmica, calor específico e densidade, conforme banco de dados e catálogos de fabricantes (Tabela 32), sendo utilizado vidro laminado AG 43 na fachada, com transmissão luminosa de 39% (Ambiente Eficiente, 2023).

Tabela 32 - Características da envoltória utilizada na simulação de desempenho térmico do edifício A.

Paredes externas	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
<b>Tipo 01</b> Fachada norte, sul leste e oeste (Salas, cozinhas e dormitórios)	1 - Inset	Granito	2	Granito branco siena $\alpha=0,36$ Granito cinza andorinha $\alpha=0,75$
	2 - Revestimento	Argamassa	1,5	-
	3 - Alvenaria	Tijolo cerâmico	11,5	-
	4 - Reboco	Argamassa	1,5	-
	5 - Pintura	-	-	-

<b>Tipo 02</b> <b>Fachada oeste</b> <b>Peitoris aptos 210</b> <b>e 110</b>	1 - Insert	Vidro	8mm	-
	2 - Câmara de ar	Ar	8cm	-
	3 - Gesso acartonado	Gesso acartonado	1,25cm	-
	4 - Câmara de ar	Ar	7cm	-
	5 - Gesso acartonado	Gesso acartonado	1,25cm	-
<b>Tipo 03</b> <b>Fachada norte e</b> <b>sul</b> <b>(Pilares)</b>	1 - Insert	Granito	2	Granito cinza andorinha $\alpha=0,75$
	2 - Argamassa assentamento	Argamassa	1,5	-
	3 - Pilar	Concreto armado	24	-
	4 - Argamassa	Argamassa	1,5	-
	5 - Pintura	-	-	-
<b>Tipo 04</b> <b>Fachada norte,</b> <b>sul</b> <b>leste e oeste</b> <b>(Vigas do</b> <b>perímetro)</b>	1 - Insert	Granito	2	Granito branco siena $\alpha=0,36$ Granito cinza andorinha $\alpha=0,75$
	2 - Argamassa de assentamento	Argamassa	1,5	-
	3 - Viga	Concreto armado	14	-
	4 - Argamassa	Argamassa	1,5	-
	5 - Pintura	-	-	-

Fonte: Ambiente Eficiente (2023).

A Tabela 33 apresenta os resultados obtido pelo relatório técnico elaborado pela empresa especializada que indicam que as unidades avaliadas apresentam relação área de ventilação ( $A_v$ ) dividida pela área de piso ( $A_p$ ) acima de 5%, o que indica que atendem ao requisito da NBR 15575 (Ambiente eficiente, 2023). É importante observar que a ventilação natural depende de outros fatores, como a posição e o dimensionamento das aberturas, a presença de elementos obstrutores e as condições climáticas.

Tabela 33 - Análise da relação área de ventilação (Av) dividida pela área de piso (Ap) das unidades avaliadas.

Apartamentos final 3, 6, 10 e 13 do 1º e 2º pavimento						
Cômodo	Área de piso (Ap) (m <sup>2</sup> )	Tipo de Janela	Área esquadria (m <sup>2</sup> )	Abertura esquadria (%)	Área de ventilação (Av) (m <sup>2</sup> )	Av/Ap (%)
Estar/Jantar/Cozinha/Área de Serviço	28,7	PVC140 - 1,435x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,62	45,00%	0,73	10,17%
		PVC140 - 1,435x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,62	45,00%	0,73	
		PVC160 - 1,435x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,62	45,00%	0,73	
		PVC160 - 1,435x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,62	45,00%	0,73	
		PVC140 - 1,42x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,6	45,00%	0,72	
		PVC140 - 1,42x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,6	45,00%	0,72	
Dormitório	17,6	PVC140 - 1,42x1,13m (De correr - 2 folhas móveis)	1,6	45,00%	0,72	12,27%
Apartamento final 2 e 9						
Cômodo	Área de piso (Ap) (m <sup>2</sup> )	Tipo de Janela	Área esquadria (m <sup>2</sup> )	Abertura esquadria (%)	Área de ventilação (AV) (m <sup>2</sup> )	Av/Ap (%)
Estar/Jantar/Cozinha/Área de Serviço	32,65	JAC6 - 2,64x1,14m 2 folhas móveis e 2 folhas fixas)	3,01	40,00%	1,2	6,43%
		JAM7 - 1x0,50m (Maxim-ar - 1 folha móvel)	0,5	60,00%	0,3	
		JAM7 - 1x0,50m (Maxim-ar - 1 folha móvel)	0,5	60,00%	0,3	
		JAM7 - 1x0,50m (Maxim-ar - 1 folha móvel)	0,5	60,00%	0,3	

Fonte: Ambiente Eficiente (2023).

O edifício apresentou adequado desempenho térmico em geral, com temperaturas dentro da faixa de conforto para a maioria dos ambientes, sendo indicado, nos locais que necessitam de atenção, a adequação de paredes externas, o uso de isolamento térmico na cobertura e as aberturas para ventilação, bem como aumento da área de bloqueio na fachada noroeste.

#### 4.3.2.2 Simulação térmica do edifício B

De acordo com a norma de desempenho a avaliação do desempenho térmico pelo método da simulação computacional de edifício residencial multifamiliar deve focar apenas em duas unidades habitacionais da cobertura, sendo a mais exposta à radiação solar direta (condição crítica de verão) e a menos exposta (condição crítica de inverno). Como o edifício analisado encontra-se em Brasília, a simulação deverá analisar ambas as condições, no verão e no inverno.

Os materiais construtivos que compõem os componentes opacos da envoltória (paredes e cobertura) foram estimados de acordo com as informações constantes no projeto arquitetônico. A Figura 50 apresenta a representação 3D do modelo computacional da unidade habitacional 601, simulada para o verão, elaborada pela empresa que desenvolveu a simulação computacional (Ambiente Eficiente, 2021).

Figura 50 - Representação 3D do modelo computacional da unidade habitacional 601, simulada para o verão.



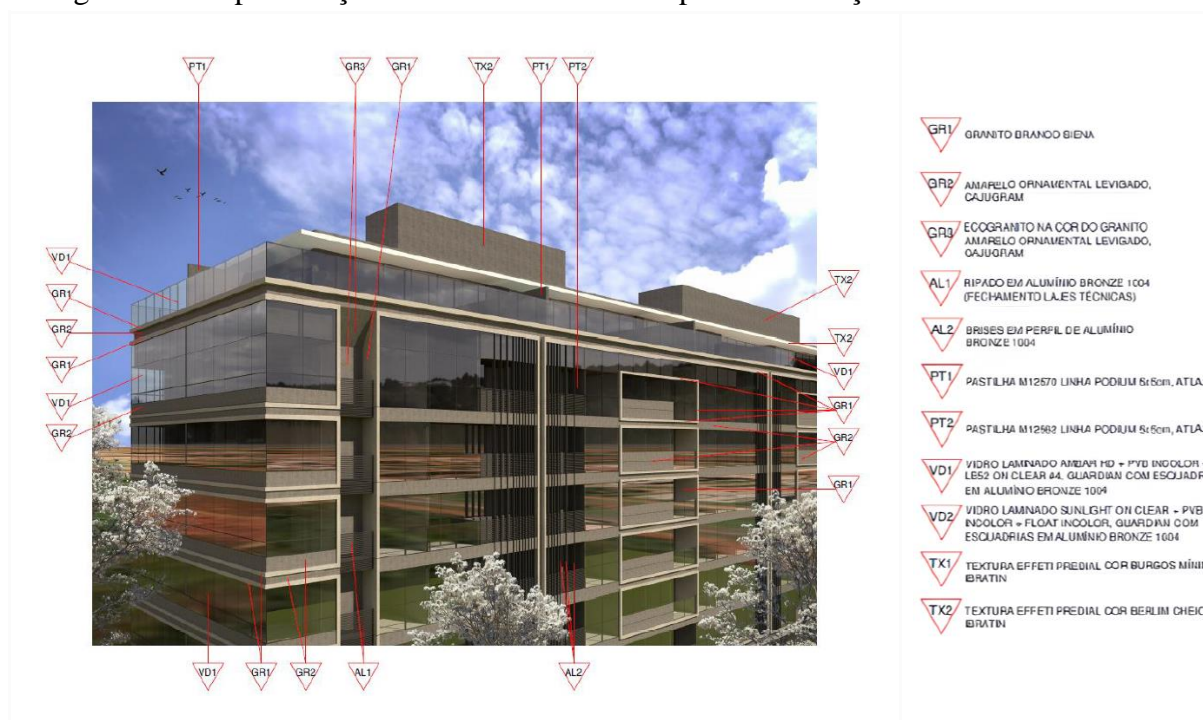
Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

Foram analisadas as unidades 601 e 613, a primeira quanto à sua performance durante o verão e a segunda durante o inverno. Também foram analisados os ambientes da sala de lazer multiuso da cobertura privativa dos respectivos apartamentos, tendo em vista que estes ambientes recebem carga térmica da cobertura e possuem as fachadas principais voltadas para norte e oeste (verão) e sul e leste (inverno).

O modelo de simulação corresponde a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Na composição de materiais para a simulação foram

utilizados dados das propriedades térmicas dos materiais e/ou componentes construtivos, conforme apresentado na Figura 51.

Figura 51 – Especificações de fachada utilizados para a simulação térmica do edifício B.



Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

Foram considerados cinco tipos de materiais para as vedações verticais externas do edifício, apresentados na Tabela 34, e os resultados das simulações realizados pela Ambiente Eficiente (2021) mostraram que os sistemas de vedações verticais externos tipos 2 e 4 não atendem ao nível mínimo de transmitância térmica segundo o procedimento simplificado da NBR 15575-4, quando revestidos com cores escuras (absortância > 0,60), no caso, absortância de 0,7.

Tabela 34 - Característica da envoltória das superfícies opacas do edifício B.

Paredes externas	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
<b>Tipo 1</b> Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste (Salas e peitoril opaco dos quartos e suítes)	1- Revestimento	Granito	2,0	Cor Branco Siena $\alpha= 0,37$ Cor Amarelo Ornamental $\alpha= 0,60$
	2- Insert	Câmara de ar	4,5	–
	3- Alvenaria	Bloco de concreto	12x19x39	–
	4- Reboco	Argamassa	2,0	–
	5- Pintura	–	–	–
<b>Tipo 2</b> Fachadas Leste e Oeste	1- Revestimento	Pastilha	0,8	Cor M12562 Atlas $\alpha= 0,70$

(Lajes Técnicas/ Salas)	2- Argamassa	Argamassa	2,0	–
	3- Alvenaria	Bloco cerâmico	12x19x39	–
	4- Argamassa	Argamassa	2,0	–
	5- Pintura	–	–	–
<b>Tipo 3</b> Fachadas Norte e Sul (Paredes- 7º pavimento)	1- Revestimento	Textura	0,5	Cor Burgos Mínimo Ibratin $\alpha= 0,36$
	2- Reboco	Argamassa	2,0	–
	3- Alvenaria	Bloco cerâmico	14x19x39	–
	4- Reboco	Argamassa	2,0	–
	5- Pintura	–	–	–
<b>Tipo 4</b> Fachada Oeste (Pilares- Salas de Estar)	1- Revestimento	Pastilha	0,8	Cor M12562 Atlas $\alpha= 0,70$
	2- Argamassa	Argamassa	2,0	–
	3- Pilar	Concreto armado	14,0	–
	4- Argamassa	Argamassa	2,0	–
	5- Pintura	–	–	–
<b>Tipo 5</b> Fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste (Vigas do perímetro)	1- Revestimento	Granito	2,0	Cor Branco Siena $\alpha= 0,37$ Cor Amarelo Ornamental $\alpha= 0,60$
	2- <i>Insert</i>	Câmara de ar	4,5	–
	3- Viga	Concreto armado	14x19x39	–
	4- Reboco	Argamassa	2,0	–
	5- Pintura	–	–	–

Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

Em relação aos fechamentos transparentes, foram avaliados dois tipos de vidro laminado, um do tipo ambar (HD + PVB incolor + LB52 On Clear) em todas as esquadrias do pavimento tipo e no 6º pavimento e outro do tipo *Sunlight* (Sunlight on Clear + PVB incolor + Float Incolor) nas esquadrias das salas de lazer multiuso do 7º pavimento.

Para o sistema de cobertura foram analisados três modelos, apresentados na Tabela 35, sendo observado que todos atenderam às exigências de desempenho térmico com nível mínimo, e o tipo 2 atendeu ao desempenho térmico com nível intermediário (Ambiente eficiente, 2021).



Tabela 35 - Características térmicas dos sistemas de cobertura.

Sistema de cobertura	Material		Espessura (cm)	Absortância ( $\alpha$ )
<b>Tipo 1</b> Cobertura do ático e 7º pavimento	1- Proteção mecânica	Argamassa	2,0	Cor Cinza $\alpha= 0,65$
	2- Impermeabilização	Manta asfáltica	1,0	–
	3- Regularização	Argamassa	3,0	–
	4- Laje	Concreto armado	20,0	–
	5- Câmara de ar	Ar	28,0	–
	6- Forro	Gesso acartonado	2,0	–
<b>Tipo 2</b> Cobertura do 6º pavimento-terraços	1- Revestimento	Porcelanato	1,0	Cor Nord Cement $\alpha= 0,60$
	2- Proteção mecânica	Argamassa	2,0	–
	3- Impermeabilização	Manta asfáltica	1,0	–
	4- Regularização	Argamassa	3,0	–
	5- Laje plana em concreto	Concreto armado	20,0	–
	6- Câmara de ar	Ar	1,7	–
	7- Forro	Gesso acartonado	2,0	–
<b>Tipo 3</b> Cobertura do 6º pavimento-piscinas	1- Revestimento	Cerâmica	1,0	Cor Azul $\alpha= 0,50$
	2- Argamassa	Argamassa	1,5	–
	3- Impermeabilização	Manta asfáltica	0,5	–
	4- Argamassa	Argamassa	2,0	–
	5- Laje plana em concreto	Concreto armado	20,0	–
	6- Câmara de ar	Ar	53,0	–
	9- Forro	Gesso acartonado	2,0	–

Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

Em relação às aberturas nas fachadas, buscando proporcionar ventilação interna dos ambientes de longa permanência: salas, dormitórios e cozinhas, pode-se observar que todos os ambientes atenderam ao nível mínimo quanto à área de abertura para ventilação requisitado pelo Código de Edificações do Distrito Federal e, conseqüentemente, à ABNT NBR 15575-4. A Tabela 36 apresenta os dados utilizados na simulação para os apartamentos com finais 1, 4, 12 e 13 do primeiro ao quinto pavimento.

Tabela 36 - Dados da simulação das aberturas para ventilação dos apartamentos finais 1, 4, 12 e 13 do primeiro ao quinto pavimento do edifício B.

Apartamentos tipo final 1, 4, 12 e 13- 1º a 5º pavimentos						
Cômodo	Área de piso (Ap) m <sup>2</sup>	Tipo de janela	Área esquadria m <sup>2</sup>	Abertura esquadria%	Área de ventilação (Av) m <sup>2</sup>	Av/Ap %
Estar/Jantar	19,00	P22- 2,62x2,50m (De correr- 2 folhas móveis)	6,55	45,00%	2,95	15,53%
Suíte 1	13,00	E01- 2,92x2,50m (Maxim-ar- 2 folhas móveis e 1 folha fixa[2,92x1,40m])	4,09	60,00%	2,45	47,92%
		E10- 7,66x2,50m (Maxim-ar- 3 folhas móveis e 1 folha fixa[4,50x1,40m])	6,3	60,00%	3,78	
Quarto 01	10,00	E10'- 7,66x2,50m (Maxim-ar- 2 folhas móveis e 1 folha fixa[2,90x1,50m])	4,35	60,00%	2,61	26,10%
Quarto 02	8,00	E02- 2,67x2,50m (Maxim-ar- 2 folhas móveis e 1 folha fixa[2,67x1,40m])	3,74	60,00%	2,24	28,00%

Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

A variação de temperatura durante o dia típico de verão para o apartamento 601 inicialmente simulada, considerando uma taxa de infiltração natural de uma renovação por hora (1 ren/h) demonstrou que, nos ambientes de permanência prolongada, no caso, suíte e quarto 1, não atenderam aos parâmetros de desempenho térmico exigidos para o dia típico de verão da NBR 15575.

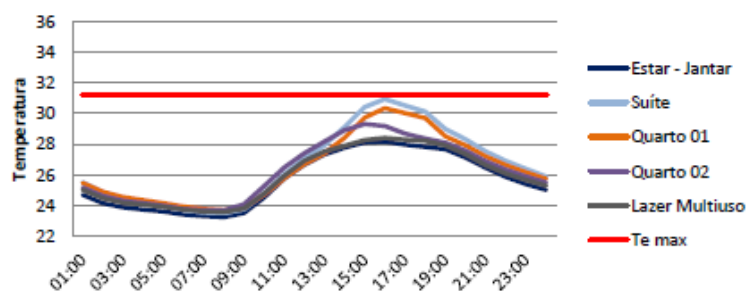
Foram testadas novas possibilidades, segundo opções sugeridas pela norma, como a possibilidade de manter uma renovação de ar por hora e adicionar o sombreamento das aberturas; a hipótese de cinco renovações de ar por hora (5 ren/h); e ainda a estratégia de cinco renovações por hora e sombreamento, mas na suíte nenhuma foi suficiente.

Para alcançar o desempenho satisfatório foram propostos novos materiais construtivos dos componentes opacos e translúcidos da envoltória. Foi avaliado outra opção de vidro laminado *SunGuard* (HP Neutral Plus 50 + PVB clear + Guardian Bronze), com transmissão luminosa de 31,0 e Fator Solar de 0,314 em todas as esquadrias do pavimento tipo e do 6º

pavimento, além da estratégia adicional de simulação permitida pela NBR 15575 de 5 renovações de ar e sombreamento interno, contudo a suíte ainda não atendeu aos parâmetros de desempenho térmico exigidos para o dia típico de verão.

A opção que se mostrou satisfatória foi a alteração no tipo de vidro e adição de peitoril opaco na fachada interna no ambiente da suíte, com uso de painel em drywall, sendo definido o uso do vidro laminado *SunGuard* (HP Neutral Plus 50 + PVB clear + Guardian Bronze), com transmissão luminosa de 31,0 e Fator Solar de 0,314 em todas as esquadrias do pavimento tipo e do 6º pavimento e a adição de um peitoril opaco com uso de painel em drywall pelo lado interno, com altura de 60 centímetros, na suíte do apartamento 601 e ainda, a estratégia adicional de simulação permitida pela NBR 15575 de cinco renovações de ar e sombreamento interno. O resultado dessa estratégia de simulação computacional, com resultado positivo, pode ser observado na Figura 52.

Figura 52 - Temperaturas obtidas na simulação computacional do apartamento 601 durante o dia típico de verão com 5 ren/h e sombreamento de 50% das aberturas.

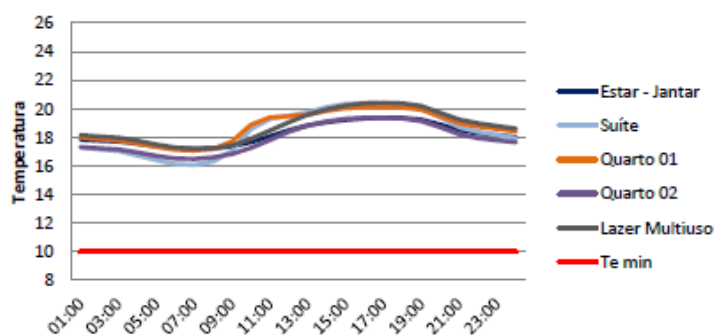


Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

Conforme observado, a temperatura em todos os ambientes da unidade 601 ficaram abaixo da temperatura máxima no dia típico de verão devido à alteração no tipo de vidro, adição de um peitoril opaco com painel de drywall e a estratégia adicional permitida com 5 ren/h e sombreamento.

A temperatura em cada ambiente durante o dia definido como típico de inverno para o apartamento 613 é apresentada na Figura 53, sendo a temperatura mínima definida como 10°C. Observa-se que a temperatura média interna é mantida acima desse valor.

Figura 53 - Perfil de temperatura das zonas do apartamento 613 avaliadas durante o dia típico de inverno, com 1 ren/h.



Fonte: Ambiente Eficiente (2021).

No inverno, onde a temperatura crítica ocorre na madrugada, a temperatura nas simulações fica tranquilamente acima do nível intermediário definido pela norma (Ambiente eficiente, 2021). Tal fato se deve pela massa térmica do edifício e as condições climáticas da cidade.

### 4.3.3 Simulação do desempenho acústico

#### 4.3.3.1 Simulação acústica do edifício A

A avaliação se concentra em áreas comuns e unidades habitacionais, buscando identificar fontes de ruído e propor soluções para isolamento e tratamento acústico. São utilizados parâmetros como Nível de Critério de Avaliação (NCA) para fachadas e coberturas, Nível de Critério de Conforto (NCC) para vedações internas e Diferença Padronizada de Nível Ponderada (DnTw) para pisos. O relatório apresentado pela empresa especializada considera o desempenho mínimo exigido pela NBR 15575, com a possibilidade de propostas para níveis superiores (Síntese acústica, 2021).

No que tange ao desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais internas, a Tabela 37 exhibe os valores, em decibéis, para a situação inicial, segundo o projeto arquitetônico, e as propostas de intervenção para alcançar o desempenho mínimo nos ambientes em que forem necessárias, destacados em vermelho.

Tabela 37 - Resultados da situação projetual baseada na simulação de desempenho acústico do edifício A.

Ambiente	Situação existente		Desempenho mínimo- Opção 1		
	Material	DnT, w (dB)	Material	Critério (dB)	DnT, w (dB)
Divisa dormitório c/sala aptos final 09 c/ 10, 13 c/ 14 e 02 c/ 03	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,9	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm preenchido com argamassa	≥ 45	46,5
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX6 (11,44x2,25m) Rw 23dB		Esquadria CX6 (11,44x2,25m) Rw 23dB		
Divisa banho c/ sala aptos final 09 c/ 10	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,5	Situação existente	≥ 40	41,5
Divisa sala c/ aptos final 09 c/10	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,8	Situação existente	≥ 40	41,8
Divisa sala c/ sala aptos final 11 c/ 10, 12 c/ 13, 05 c/ 06 e 03 c/ 04	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,7	Alvenaria de bloco de concreto 11,5cm	≥ 40	41,1
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX8 (12,94x2,25m) Rw 17dB		Esquadria CX8 (12,94x2,25m) Rw 17dB		
Divisa dormitório c/dormitório aptos final 11 c/ 12, 04 c/ 05 e 08 c/ 09	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	35,3	Alvenaria de bloco de concreto 14cm preenchido com argamassa	≥ 45	47,4
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX3 (2,80x2,38m) Rw 18dB		Esquadria CX3 (2,80x2,38m) Rw 18dB		
Divisa sala c/ sala aptos final 13 c/ 14 e 02 c/ 03	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	40,7	Situação existente	≥ 40	40,7
Divisa banho c/ sala aptos final 13 c/ 14 e 02 c/ 03	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,8	Situação existente	≥ 40	41,8
Divisa dormitório c/conjugado aptos final 14 c/ 15 e 01 c/ 02	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	33,3	Alvenaria de bloco de concreto 14cm preenchido com argamassa	≥ 45	45,5
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
Divisa conjugado c/ conjugado aptos final 01 c/ 15	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,7	Alvenaria de bloco de concreto 11,5cm preenchido com argamassa	≥ 45	46,6
	Esquadria CX5 (7,41x2,25m) Rw 20 Db		Esquadria CX5 (7,41x2,25m) Rw 20 Db		
Divisa banho c/ aptos conjugados final 01 c/ 15 e	Alvenaria de bloco cerâmico 9cm	43,3	Alvenaria de bloco cerâmico 9cm	≥ 45	46,1

<b>16 c/ espaço família</b>					
<b>Divisa banho c/ banho aptos final 01 c/ 15 e 16 c/ espaço família</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 9cm	32,4	Alvenaria de bloco de concreto 11,5cm preenchido com argamassa	≥ 40	40,8

Fonte: Síntese acústica (2021).

Na análise da simulação pode-se observar que algumas paredes internas, inicialmente pensadas em serem executadas com blocos cerâmicos de 11,5 cm, não atingiram o desempenho acústico mínimo de 45 dB exigido pela NBR 15575-4, sendo sugerido o preenchimento das fiadas com argamassa e a substituição por blocos de concreto de 14 cm.

Essa necessidade de adequação corrobora as observações de Sorgato *et al.* (2014), que destacam a influência da composição e espessura das paredes no desempenho acústico de edifícios residenciais. A utilização de materiais com maior massa e densidade, como o bloco de concreto, contribui para um melhor isolamento sonoro, conforme também observado por Bistafa (2018).

As intervenções propostas visam garantir o conforto acústico dos moradores, minimizando a transmissão de ruídos entre os ambientes e atendendo às exigências da norma. O relatório oferece soluções para os problemas encontrados, com o objetivo de alcançar o desempenho acústico desejado.

Para reduzir o ruído de impacto entre unidades habitacionais, sugere-se a instalação de contrapisos com manta acústica ou a utilização de lajes flutuantes. Com o intuito de aumentar o isolamento acústico entre unidades habitacionais e entre ambientes de uso comum, recomenda-se o uso de paredes duplas com lã mineral ou a substituição de materiais por outros com maior massa e densidade (Síntese acústica, 2021).

Para evitar a transmissão de ruídos pelas tubulações, indicou-se a utilização de mantas de desconexão entre as tubulações e as estruturas. A fim de reduzir o ruído proveniente de áreas comuns, como casa de bombas e gerador, sugeriu-se a instalação de revestimentos fonoabsorventes nas paredes e tetos, além do uso de portas e janelas acústicas (Síntese acústica, 2021).

Para evitar a transmissão de vibrações de equipamentos, como elevadores, foi recomendado a utilização de amortecedores e bases de inércia. O relatório também destaca a importância de compatibilizar as soluções propostas com o sistema construtivo do edifício e de

realizar testes acústicos após a implementação das soluções para verificar sua efetividade (Síntese acústica, 2021).

A Tabela 38 detalha o desempenho acústico das divisórias externas, por unidade habitacional, comparando a proposta inicial do projeto de arquitetura com as alterações necessárias para atingir o desempenho mínimo das classes I, II e III (Síntese acústica, 2021). Os dormitórios com a mesma nomenclatura possuem composição de fachadas idênticas.

Tabela 38 - Simulação de desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais externas.

Ambiente	Situação existente		Desempenho mínimo				Desempenho intermediário			
	Material	Área (m <sup>2</sup> )	Material	Área (m <sup>2</sup> )	Critério (dB)	D2m, nT, w (dB)	Material	Área (m <sup>2</sup> )	Critério (dB)	D2m, nT, w (dB)
<b>Fachada Conjugados - 216 e 217</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	1,04	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm preenchido com argamassa	1,04	≥ 20	20,3	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	1,04	≥ 25	25,3
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,20m	5,94	Esquadria Rw mínimo 18dB	5,94			Esquadria RW mínimo 23dB			
<b>Fachada Conjugados - Apto 218</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,96	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm preenchido com argamassa	6,96	≥ 20	20,3	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,96	≥ 25	25,2
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,20m	5,94	Esquadria Rw mínimo 17dB	5,94			Esquadria RW mínimo 22dB			
<b>Fachada Conjugado- Apto 219 (JAC6)</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	4,48	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	4,48	≥ 20	20,6	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	4,48	≥ 25	25,6
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,30m	5,94	Esquadria Rw mínimo 17dB	5,94			Esquadria RW mínimo 22dB			
<b>Fachada Conjugado- Aptos final 19- JAM7</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	19,20	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	19,20	≥ 20	21,2	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	19,20	≥ 25	25,4

	3 Esquadrias JAM7 1,00m x 0,50m	1,50	Esquadria RW mínimo 17 dB	1,50			Esquadria RW mínimo 22dB	1,50		
	Pilar de concreto 70cm espessura	0,51	Pilar de concreto 70cm espessura	0,51			Pilar de concreto 70cm espessura	0,51		
<b>Fachada Conjugado- Aptos finais 01 e 15</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,51	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,51	≥ 25	25,4	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,51	≥ 30	30,4
	Esquadria CX5 3,63m x 2,25m	8,17	Esquadria RW mínimo 25 dB	8,17			Esquadria RW mínimo 30dB	8,17		
<b>Fachada dormitório- Aptos finais 02 e 14</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 25	25,2	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 30	30,2
	Esquadria CX1 1,30m x 2,38m	3,09	Esquadria RW mínimo 23 dB	3,09			Esquadria RW mínimo 28dB	3,09		
<b>Fachada dormitório- Fachada sem pilar- aptos finais 03, 06, 10 e 13</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,54	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,54	≥ 25	25,8	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,54	≥ 30	30,8
	Esquadria CX6 5,41m x 2,25m	12,1 7	Esquadria RW mínimo 28 dB	12,1 7			Esquadria RW mínimo 33dB	12,1 7		
	Viga de concreto 14cm espessura	0,97	Viga de concreto 14cm espessura	0,97			Viga de concreto 14cm espessura	0,97		
<b>Fachada dormitório- aptos finais 07, 08 e 09</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 25	25,4	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 30	30,4
	Esquadria CX3 1,33m x 2,38m	3,17	Esquadria RW mínimo 23 dB	3,17			Esquadria Rw mínimo 28dB	3,17		
<b>Fachada dormitório- Fachada com pilar- aptos finais 03, 06, 10 e 13</b>	Viga de concreto 14cm espessura	0,12	Viga de concreto 14cm espessura	0,12	≥ 30	30,7	Viga de concreto 14cm espessura	0,12	≥ 35	35,7
	Pilar de concreto 25cm espessura	6,00	Pilar de concreto 25cm espessura	6,00			Pilar de concreto 25cm espessura	6,00		



	Esquadria CX8 0,86m x 2,25m	2,00	Esquadria RW mínimo 25 dB	2,00			Esquadria RW mínimo 30dB	2,00		
	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,10	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,10			Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,10		
<b>Fachada dormitório-aptos finais 04, 05, 11 e 12</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,20	≥ 30	30,4	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 35	35,4
	Esquadria CX3 1,33m x 2,38m	3,17	Esquadria RW mínimo 28 dB	3,17			Esquadria RW mínimo 33 dB	3,17		
<b>Fachada conjugado 116 espaço Família</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	0,77	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	0,77	≥ 20	20,1	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	0,77	≥ 25	25,1
	Esquadria PAC6 2,70m x 2,30m	6,21	Esquadria Rw mínimo 18 dB	6,21			Esquadria RW mínimo 23 dB	6,21		
	Pilar de concreto 70cm espessura	0,23	Pilar de concreto 70cm espessura	0,23			Pilar de concreto 70cm espessura	0,23		
<b>Fachada conjugado 117</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,69 3	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,69 3	≥ 20	20,1	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,69 3	≥ 25	25,0
	Esquadria PAC6 2,70m x 2,30m	6,21	Esquadria RW mínimo 17 dB	6,21			Esquadria RW mínimo 22 dB	6,21		

Classe de ruído I

Classe de ruído II

Classe de ruído III

Fonte: Síntese acústica (2021).

Os resultados revelam que as fachadas dos quartos, em sua configuração inicial, não atendem aos critérios mínimos de isolamento acústico da NBR 15575. Para solucionar isso, as simulações sugeriram a adoção de esquadrias com maior índice de redução sonora (Rw), com valores específicos para cada tipo de fachada e classe de ruído (Síntese acústica, 2021).

Embora o cálculo da simulação computacional tenha se concentrado nas paredes com aberturas (portas ou janelas), por serem o ponto mais crítico da fachada em termos de desempenho acústico, é crucial garantir um isolamento mínimo nas paredes cegas (sem

aberturas) durante a definição do sistema construtivo. Para mitigar a propagação de ruídos, recomendou-se a instalação de forros acústicos, a substituição de materiais por alternativas com melhor desempenho acústico e a implementação de medidas de isolamento, sempre assegurando a compatibilidade dessas soluções com o sistema construtivo do edifício.

As análises revelam a necessidade de adequações em sistemas como piso entre unidades, vedações internas e lajes em contato com o solo. As vedações verticais externas, em especial as fachadas dos quartos, demandam atenção também. A Tabela 39 demonstra algumas adequações necessárias segundo o relatório técnico (Síntese acústica, 2021).

Tabela 39 - Adequações em alguns sistemas segundo dados da simulação de desempenho acústico do edifício A.

Sistema	Elemento	Situação Existente	Descrição
<b>Pisos entre unidades</b>	Ruído de Impacto (LnTw)	Indicação de ajustes	A laje existente não atenua o ruído de impacto entre unidades habitacionais aos níveis mínimos exigidos pela norma.
<b>Pisos entre unidades</b>	Ruído Aéreo (DnTw)	Indicação de ajustes	A laje existente não oferece isolamento acústico suficiente contra ruídos aéreos entre unidades habitacionais, principalmente em frequências mais baixas.
<b>Vedações internas</b>	DnTw	Indicação de ajustes	As paredes internas entre unidades habitacionais não possuem isolamento acústico suficiente para ruídos aéreos, especialmente em frequências mais baixas.
<b>Vedações Verticais</b>	Fachadas (D2m,nT,w)	-	As fachadas dos quartos não atendem aos níveis mínimos de isolamento acústico contra ruídos externos, principalmente aqueles provenientes de áreas de lazer e circulação.
<b>Hidrossanitários</b>	Lasmx	Indicação de ajustes	As tubulações hidrossanitárias não estão desconectadas das estruturas, o que pode gerar transmissão de ruídos entre unidades habitacionais.
<b>Hidrossanitários</b>	Laeq	Indicação de ajustes	Não foram fornecidas informações sobre o nível de pressão sonora equivalente (Laeq) para os sistemas hidrossanitários, o que impede a avaliação do seu desempenho.
<b>Equipamentos</b>	Lasmx	Reprovado	Não foram fornecidas informações sobre o nível de pressão sonora de impacto máximo (Lasmx) para os equipamentos, o que impede a avaliação do seu desempenho.

**Legenda:**

**LnTw:** Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado.

**DnTw:** Diferença padronizada de nível ponderada.

**D2m, nT, w:** Diferença padronizada de nível ponderada em fachadas.

**Lasmx:** Nível de pressão sonora de impacto máximo.

**Laeq:** Nível de pressão sonora equivalente.

As paredes de divisa entre unidades autônomas, inicialmente projetadas com blocos cerâmicos de 11,5 cm, necessitavam de reforço com blocos de concreto de 14 cm e preenchimento das fiadas com argamassa; algumas lajes precisam de forros acústicos para reduzir a propagação de ruídos de impacto; e as esquadrias de alguns dormitórios precisam de maior índice de redução sonora.

#### 4.3.3.2 Simulação acústica do edifício B

O desempenho para ruído de impacto (LnTw) de pisos entre unidades se mostrou mínimo ou intermediário. Ambientes com maiores ruídos precisaram de intervenções, ainda na fase de simulação, como alguns exemplos: a casa de bombas e o reservatório inferior onde foram propostos a substituição do gradil por alvenaria de bloco cerâmico de 9 cm com porta veneziana metálica com  $R_w$  de 13 dB; no ambiente onde localiza o gerador foi recomendado o uso de revestimento fonoabsorvente *Sonique Wave No Fire* colado sobre alvenaria; no espaço gourmet a substituição de porta convencional para esquadria acústica com  $R_w$  mínimo de 34 dB e a instalação de forro fono absorvente Knauf com lã de rocha sob laje (Síntese acústica, 2022).

Os demais sistemas mostraram ser necessário a desconexão seja nos sistemas hidrossanitários, equipamentos ou para as vedações verticais. Para o desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais internas a Tabela 40 apresenta os valores, em decibéis, para a situação de projeto arquitetônico inicial e a proposta para atender ao desempenho mínimo de alguns ambientes (Síntese acústica, 2022).

Tabela 40 - Resultados da situação projetual baseada na simulação de desempenho acústico do edifício B.

Ambiente	Situação existente		Desempenho mínimo- Opção I		
	Material	DnT, w (dB)	Material	Critério (dB)	DnT, w (dB)
Divisa dormitório c/ sala aptos final 09 c/ 10, 13 c/ 14 e 02 c/ 03	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,9	Alvenaria de bloco de concreto 11,5cm preenchido com argamassa	≥ 45	46,5
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX6 (11,44x2,25m) $R_w$ 23dB		Esquadria CX6 (11,44x2,25m) $R_w$ 23dB		

<b>Divisa banho c/sala aptos final 09 c/ 10</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,5	Situação existente	≥ 40	41,5
<b>Divisa sala c/ sala aptos final 09 c/10</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,8	Situação existente	≥ 40	41,8
<b>Divisa sala c/ sala aptos final 11 c/ 10, 12 c/ 13, 05 c/ 06 e 03 c/ 04</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,7	Alvenaria de bloco de concreto 11,5cm	≥ 40	41,1
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX8 (12,94x2,25m) Rw 17dB		Esquadria CX8 (12,94x2,25m) Rw 17dB		
<b>Divisa dormitório c/ dormitório aptos final 11 c/ 12, 04 c/ 05 e 08 c/ 09</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	35,3	Alvenaria de bloco de concreto 14cm preenchido com argamassa	≥ 45	47,4
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
	Esquadria CX3 (2,80x2,38m) Rw 18dB		Esquadria CX3 (2,80x2,38m) Rw 18 dB		
<b>Divisa sala c/ sala aptos final 13 c/ 14 e 02 c/03</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	40,7	Situação existente	≥ 40	40,7
<b>Divisa banho c/sala aptos final 13 c/ 14 e 02 c/03</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	41,8	Situação existente	≥ 40	41,8
<b>Divisa dormitório c/ conjugado aptos final 14 c/ 15 e 01 c/02</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	33,3	Alvenaria de bloco de concreto 14 cm preenchido com argamassa	≥ 45	45,5
	Pilar de concreto 20cm espessura		Pilar de concreto 20cm espessura		
<b>Divisa conjugado c/ conjugado aptos final 01 c/ 15</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	37,7	Alvenaria de bloco de concreto 11,5 cm preenchido com argamassa	≥ 45	46,6
	Esquadria CX5 (7,41x2,25m) Rw 20 dB		Esquadria CX5 (7,41x2,25m) Rw 20 dB		
<b>Divisa banho c/ aptos conjugados final 01 c/ 15 e 16 c/ espaço família</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 9cm	43,3	Alvenaria de bloco de concreto 9 cm	≥ 45	46,1
<b>Divisa banho c/ banho aptos final 01 c/ 15 e 16 c/ espaço família</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 9cm	32,4	Alvenaria de bloco de concreto 11,5 cm preenchido com argamassa	≥ 40	40,8

Fonte: Síntese acústica (2022).

Pode-se observar que o desempenho acústico mínimo não foi alcançado em algumas situações, marcadas em vermelho, locais onde foram propostas soluções. Na divisa entre dormitórios adjacentes em unidades distintas, como os apartamentos com final 3 e 8, inicialmente havia sido proposto alvenaria de bloco cerâmico de 11,5 cm, mas para alcançar o desempenho acústico foi recomendado preencher com argamassa a fiada da alvenaria e alterar para bloco de concreto de 14 cm, passando assim, de 35,3 dB para 47,4 dB, o que atende o valor mínimo de 45 dB da norma de desempenho.

Para os sistemas de vedação vertical externa a NBR 15575 exige que apenas as fachadas dos quartos sejam analisadas. A Tabela 41, onde os dormitórios com mesma nomenclatura apresentam composição de fachadas idênticas, apresenta de forma detalhada, por unidade habitacional, o desempenho das divisórias externas propostas no projeto de arquitetura e as alterações necessárias para atender ao desempenho mínimo das classes I, II e III (Síntese acústica, 2022).

Tabela 41 - Desempenho acústico de ruído aéreo em vedações verticais externas do edifício B.

Ambiente	Situação existente		Desempenho mínimo			
	Material	Área (m <sup>2</sup> )	Material	Área (m <sup>2</sup> )	Critério (dB)	D2m, nT, w (dB)
<b>Fachada Conjugados-216 e 217</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	1,04	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	1,04	≥ 20	20,3
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,20m	5,94	Esquadria Rw mínimo 18dB	5,94		
<b>Fachada Conjugados-Apto 218</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,96	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,96	≥ 20	20,3
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,20m	5,94	Esquadria Rw mínimo 17dB	5,94		
<b>Fachada Conjugado-Apto 219 (JAC6)</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	4,48	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	4,48	≥ 20	20,6
	Esquadria JAC6 2,70m x 2,30m	5,94	Esquadria Rw mínimo 17dB	5,94		

<b>Fachada Conjugado-Aptos final 19- JAM7</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	19,20	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	19,20	≥ 20	21,2
	3 Esquadrias JAM7 1,00m x 0,50m	1,50	Esquadria RW mínimo 17 dB	1,50		
	Pilar de concreto 70cm espessura	0,51	Pilar de concreto 70cm espessura	0,51		
<b>Fachada Conjugado-Aptos finais 01 e 15</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,51	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,51	≥ 25	25,4
	Esquadria CX5 3,63m x 2,25m	8,17	Esquadria RW mínimo 25 dB	8,17		
<b>Fachada dormitório-Aptos finais 02 e 14</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 25	25,2
	Esquadria CX1 1,30m x 2,38m	3,09	Esquadria RW mínimo 23 dB	3,09		
<b>Fachada dormitório-Fachada sem pilar-aptos finais 03, 06, 10 e 13</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,54	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,54	≥ 25	25,8
	Esquadria CX6 5,41m x 2,25m	12,17	Esquadria RW mínimo 28 dB	12,17		
	Viga de concreto 14cm espessura	0,97	Viga de concreto 14cm espessura	0,97		
<b>Fachada dormitório-aptos finais 07, 08 e 09</b>	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14cm	0,20	≥ 25	25,4
	Esquadria CX3 1,33m x 2,38m	3,17	Esquadria RW mínimo 23 dB	3,17		
<b>Fachada dormitório-Fachada com pilar-</b>	Viga de concreto 14cm espessura	0,12	Viga de concreto 14cm espessura	0,12	≥ 30	30,7

aptos finais 03, 06, 10 e 13	Pilar de concreto 25cm espessura	6,00	Pilar de concreto 25cm espessura	6,00		
	Esquadria CX8 0,86m x 2,25m	2,00	Esquadria RW mínimo 25 dB	2,00		
	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,10	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,10		
Fachada dormitório- aptos finais 04, 05, 11 e 12	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,20	Alvenaria de bloco cerâmico 14 cm	0,20	≥ 30	30,4
	Esquadria CX3 1,33m x 2,38m	3,17	Esquadria RW mínimo 28 dB	3,17		
Fachada conjugado 116 espaço Família	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	0,77	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	0,77	≥ 20	20,1
	Esquadria PAC6 2,70m x 2,30m	6,21	Esquadria Rw mínimo 18 dB	6,21		
	Pilar de concreto 70cm espessura	0,23	Pilar de concreto 70cm espessura	0,23		
Fachada conjugado 117	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,693	Alvenaria de bloco cerâmico 11,5cm	6,693	≥ 20	20,1
	Esquadria PAC6 2,70m x 2,30m	6,21	Esquadria RW mínimo 17 dB	6,21		

- Classe de ruído I
- Classe de ruído II
- Classe de ruído III

Fonte: Síntese acústica (2022).

O cálculo da simulação foi realizado pela empresa especializada considerando apenas as paredes com aberturas (portas ou janelas), que são o ponto mais crítico da fachada. Entretanto, é importante salientar que, na definição do sistema construtivo de paredes cegas (sem aberturas), deve ser garantido isolamento mínimo (Síntese acústica, 2022).

Foram recomendadas intervenções como instalação de forros, substituição de materiais e medidas de isolamento para mitigar a propagação de ruídos, além da compatibilização das soluções com o sistema construtivo do edifício. A Tabela 42 apresenta algumas recomendações segundo os critérios observados pela empresa especializada para atender as recomendações para desempenho acústico da norma de desempenho (Síntese acústica, 2022).

Tabela 42 - Resumo das recomendações para melhor desempenho acústico do edifício B.

Sistema	Elemento	Desempenho	Descrição da não conformidade
<b>Pisos entre unidades</b>	Ruído de impacto (LnTw)	Aprovado (M)	-
<b>Ruído aéreo (DnTw)</b>	Aprovado (M)	Aprovado (M)	-
<b>Vedações internas</b>	Isolamento de ruído aéreo (DnTw)	Indicação de ajustes	As paredes internas entre unidades habitacionais não possuem isolamento acústico suficiente para ruídos aéreos, especialmente em frequências mais baixas.
<b>Vedações verticais</b>	Fachadas (D2m,nT,w)	Aprovado (M, I, S)	-
<b>Hidrossanitários</b>	Nível de pressão sonora de impacto (Lasmx)	Indicação de ajustes	As tubulações hidrossanitárias não estão desconectadas das estruturas, o que pode gerar transmissão de ruídos entre unidades habitacionais.
<b>Equipamentos</b>	Nível de pressão sonora de impacto (Lasmx)	Indicação de ajustes	Não foram fornecidas informações sobre o nível de pressão sonora de impacto máximo (Lasmx) para os equipamentos.

<b>Legenda:</b>
<b>M:</b> Mínimo
<b>I:</b> Intermediário
<b>S:</b> Superior
<b>LnTw:</b> Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado.
<b>DnTw:</b> Diferença padronizada de nível ponderada.
<b>D2m, nT, w:</b> Diferença padronizada de nível ponderada em fachadas.
<b>Lasmx:</b> Nível de pressão sonora de impacto máximo.
<b>Laeq:</b> Nível de pressão sonora equivalente.

Fonte: Síntese acústica (2022).

Os resultados demonstraram a necessidade de adequações nos projetos executivos para sistemas como pisos, vedações internas, fachadas e sistemas hidrossanitários, para atender aos critérios da norma. O relatório de desempenho acústico destaca a importância do isolamento acústico na fonte, priorizando a intervenção em áreas comuns que geram ruído, como casa de bombas, gerador e espaço gourmet.



#### **4.4 Análise comparativa do desempenho: simulação computacional e medições *in loco***

Buscou-se avaliar as decisões tomadas para elaboração dos projetos, as decisões construtivas e escolhas de materiais, conhecer as estratégias passivas de desempenho (como ventilação natural e aproveitamento de luz solar), avaliar as exigências das normas e as condições climáticas na região avaliada.

##### **4.4.1 Desempenho luminoso**

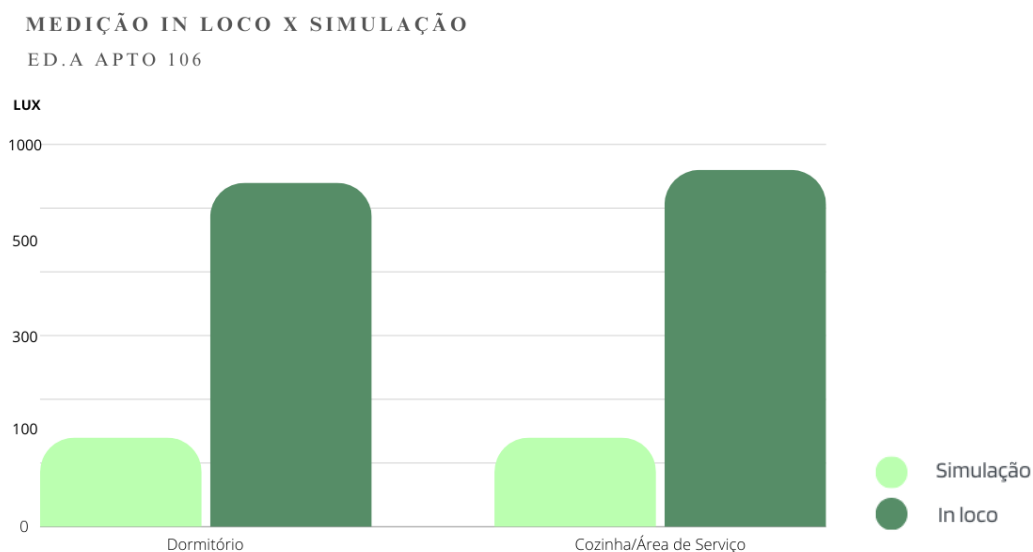
###### **4.4.1.1 Simulação luminoso vs medição *in loco* do edifício A**

Para a análise comparativa foram usados os valores da intensidade luminosa, em lux, sendo avaliado os ambientes sala, cozinha/área de serviço e dormitório, considerando apenas a iluminação natural.

A simulação computacional mostrou a necessidade de uso de vidro laminado de alta performance nas unidades periféricas e vidro incolor nas unidades voltadas para o átrio. Nas medições no local, as unidades localizadas na fachada sul-oeste, nas extremidades do edifício e com maior área de iluminação apresentaram o melhor desempenho.

A Figura 54 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos *in loco* e na simulação computacional da unidade 106 para os ambientes sala/cozinha/área de serviço e dormitório. A iluminância obtida pela simulação foi de 120 lux e *in loco* alcançou 971 lux, sendo que, na medição *in loco* foi utilizada a escala de até 20000 lux enquanto na simulação a escala é até 1000 lux, o que dá maior precisão na primeira.

Figura 54 - Iluminância, em lux, obtida pela simulação computacional e *in loco* do apartamento 106 do edifício A.



Zou e Song (2022), em estudo realizado na China, realizaram medições *in loco* da iluminância em diferentes apartamentos com equipamento de alta resolução (até 20000 lux) e compararam com valores obtidos por simulação computacional, utilizando o software DIALux, tendo observado que a escala mais afinada do luxímetro contribuiu para uma maior precisão nas medições e para a identificação de diferenças significativas entre o desempenho lumínico real e o simulado.

As unidades 115, 116, 117, 215 e 218 apresentaram menor desempenho na simulação no ambiente cozinha/área de serviço e as unidades voltadas para o interior do primeiro andar, que recebem o sombreamento do próprio edifício, como a 115 e 215, além de serem mais profundas possuem um alargamento dentro da unidade no lado oposto à entrada da luz natural, o que poderia prejudicar seu desempenho luminoso. Contudo, nas medições *in loco* dessas unidades, pode-se observar que, mesmo na cozinha/área de serviço que estão mais distantes, a iluminância média obtida foi acima de 600 lux, alcançando desempenho superior.

Figueiredo e Cavalcanti (2022) avaliaram o desempenho lumínico de um edifício localizado no setor Noroeste, com características geométricas semelhantes às do edifício A, onde os resultados da simulação mostraram que todas as unidades apresentaram desempenho satisfatório. As medições realizadas *in loco* apresentaram valor médio de 254 lux na cozinha/área de serviço em uma unidade que havia apresentado desempenho mínimo na simulação computacional. O edifício era composto por vidro laminado incolor nas aberturas internas e vidro de alta performance na cor prata escuro AG 43 nas demais, tendo a sala e quartos piso de

cor cinza claro com 60% de refletância, parede e teto na cor branco neve com 85% de refletância.

O edifício A possui a mesma geometria do edifício avaliado por Figueiredo e Cavalcanti (2022), com o mesmo vidro laminado incolor nas unidades voltadas para o átrio, de transmissão luminosa de 88% e vidro de alta performance AG 43, com transmissão luminosa de 39% nas fachadas principais. O piso e as paredes da cozinha/área de serviço utilizado na simulação foram na cor liege nude, com 50% de refletância, um pouco inferior à utilizada no edifício avaliado por Figueiredo e Cavalcanti (2022) e a parede dos demais ambientes e o teto na cor branco neve, com 85% de refletância, a mesma utilizada pelas pesquisadoras. Pode-se observar que a redução de 10% na refletância do piso e das paredes impactou negativamente no desempenho lumínico do edifício A quando comparado ao edifício avaliado pelas pesquisadoras.

O apartamento 116, localizado na fachada leste, com geometria mais profunda, mostrou pela simulação, ter desempenho mínimo na cozinha/área de serviço, locais que foram definidos como lavanderia e shaft. Os dados da medição *in loco* mostraram que o uso do terraço descoberto e esquadria com maior transmitância em todo o vão foi satisfatório.

A comparação entre os valores de iluminância medidos *in loco* e os valores simulados para o apartamento 106 revelou diferenças significativas em alguns ambientes. Na sala de estar/jantar, a iluminância medida foi 30% superior à iluminância simulada, enquanto no dormitório a diferença foi de 15%. Essas diferenças podem ser explicadas por diversos fatores, como a variação da luminosidade natural ao longo do dia e a precisão do modelo computacional. É importante destacar que, apesar das diferenças, ambos os métodos indicaram um desempenho lumínico satisfatório para o apartamento 106, com valores acima do mínimo exigido pela NBR 15575.

Portanto, as medições *in loco* mostraram valores de desempenho lumínico adequados para todos os ambientes, bem acima dos valores da simulação computacional. Isso leva a entender que os materiais construtivos empregados, como o vidro, apresentou uma refletância maior que a simulada, e que as condições de nebulosidade nos dias das medições eram satisfatórias. Destaca-se que Brasília possui boa incidência de luz solar, com boa luminosidade. Os resultados indicam que os edifícios avaliados recebem mais luz natural do que o esperado, o que contribui para o desempenho luminoso e o bem-estar dos moradores.

Recomenda-se em unidades com plantas mais profundas o uso de cores claras nos revestimentos e esquadrias com grandes áreas envidraçadas, mantendo o distanciamento adequado entre as edificações e obstáculos como muros e taludes.

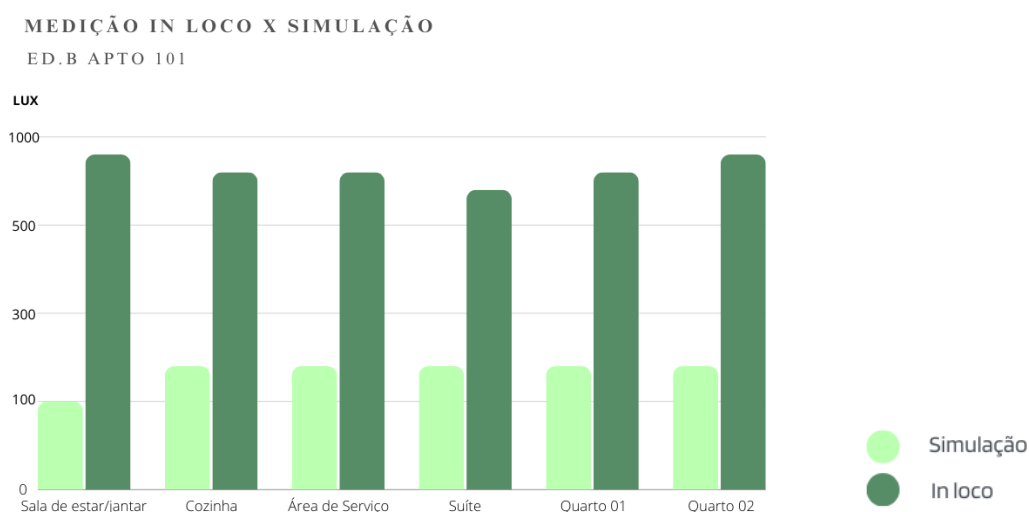
#### 4.4.1.2 Simulação luminoso vs medição *in loco* do edifício B

Para a análise foram utilizados os valores de iluminância (lux) dos ambientes de sala, cozinha e dormitórios, considerando apenas a iluminação natural. A simulação computacional indicou a necessidade de diferentes tipos de vidro para otimizar o desempenho lumínico.

Os apartamentos 101 e 211 apresentaram o melhor desempenho lumínico na simulação, com valores superiores em todos os cômodos. O apartamento 101, localizado na fachada norte-oeste, com janelas em duas fachadas, obteve na medição *in loco* uma iluminância média de 765 a 986 lux na sala e no dormitório 1, respectivamente.

A Figura 55 apresenta os resultados da medição *in loco* e os valores obtidos na simulação computacional do apartamento 101 para os ambientes sala/cozinha/área de serviço, suíte, quarto 01 e quarto 02. Os resultados da simulação mostraram nível intermediário e superior de iluminação, entretanto os valores das medições *in loco* foram bem acima, alcançando até 986 lux.

Figura 55 - Iluminância, em lux, obtida pela simulação computacional e nas medições *in loco* do apartamento 101 do edifício B.



Nos apartamentos 102, 105, 106 e 211, as simulações e as medições apresentaram variações no desempenho lumínico dos cômodos, com vários ambientes superando as previsões da simulação.

O apartamento 101, localizado no canto, com janelas em duas fachadas, apresentou o melhor desempenho luminoso, o que reforça a importância da posição da unidade e da área envidraçada. Apartamentos com cômodos mais profundos, como o 106, tendem a ter menor iluminância nas áreas mais afastadas das janelas. A orientação solar também influencia a iluminância, sendo observado que as unidades voltadas para o norte, recebem maior insolação ao longo do dia.

Ferreira e Santos (2022) abordam a importância da iluminação natural para a saúde e o bem-estar dos moradores, e destacam a influência da posição das janelas, da orientação solar e da geometria dos ambientes na distribuição da luz natural nos espaços internos. Os autores realizaram medições em apartamentos e concluíram que a localização em posição de canto e janelas em duas fachadas favorece a captação de luz natural e proporciona maior iluminância. Eles também observaram que a orientação solar norte e oeste garante boa incidência de luz solar ao longo do dia, e que a geometria dos ambientes, com pé-direito alto e planta livre, favorece a distribuição da luz natural, evitando áreas de sombra.

#### **4.4.2 Desempenho térmico**

##### **4.4.2.1 Simulação térmica vs medição *in loco* do edifício A**

A análise comparativa do desempenho térmico do edifício A revela diferenças mínimas entre as temperaturas simuladas e as medidas *in loco*. A Tabela 43 apresenta os valores da temperatura para as unidades 106, 115, 116 e 117.

Tabela 43 - Valores da temperatura, em °C, obtidos na simulação computacional e nas medições *in loco* do edifício A.

Apartamento	Ambiente	Temperatura medida (°C)	Temperatura simulada (°C)
106	Sala	25,7	28,1
106	Cozinha	26,3	28,3
106	Quarto 1	25,1	27,5
106	Quarto 2	25,8	28,1
115	Sala/Quarto	26,7	27,8
115	Cozinha	26,3	27,6
116	Sala/Quarto	26,1	27,3
116	Cozinha	26,1	27,1
117	Sala/Quarto	26,3	27,6
117	Cozinha	26,1	27,3

No apartamento 106 a temperatura na sala foi de 25,7°C, enquanto na simulação foi 28,1°C, uma diferença de 8,5%; e no apartamento 115 a temperatura na sala foi de 26,7°C, enquanto a simulada foi de 27,8°C, uma diferença de 4%. Essa diferença pode ocorrer pelas condições climáticas nos dias das medições.

Uma estratégia é o sombreamento externo ou interno, que bloqueia, no mínimo, 50% da radiação direta, por meio do uso de um peitoril opaco interno, com características de transmitância térmica e capacidade térmica que permitam atendimento por simulação.

Em estudo semelhante em Brasília demonstrou que outro caminho, bem mais oneroso, é a especificação de vidros duplos com fator solar baixo, isolamento muito eficiente de cobertura e uso de proteções solares externas ou internas (cortinas e persianas), cuja utilização e manutenção dependem do usuário (Glehn e Kos, 2021).

Silva *et al.* (2022) também observaram variações entre as temperaturas medidas e simuladas em seu estudo de caso com edifícios residenciais em Florianópolis. Os autores atribuíram essas variações a fatores como a variação da temperatura externa, a presença de elementos internos e a imprecisão do modelo computacional.

#### 4.4.2.2 Simulação térmica vs medição *in loco* do edifício B

A análise comparativa do desempenho térmico do edifício B revelou pouca diferença entre as temperaturas médias medidas *in loco* e as temperaturas simuladas. A Tabela 44 apresenta os valores da temperatura, em °C, para cada ambiente dos apartamentos 101, 102, 105 e 106. No apartamento 101 a temperatura na sala foi de 26,4°C, enquanto a simulada foi de 25,8°C, uma diferença de 2,3% e na unidade 106 a temperatura na sala foi de 26,1°C, enquanto a simulada foi de 25,3°C, dando uma diferença de 3,2%.

Tabela 44- Valores da temperatura, em °C, obtidos na simulação computacional e nas medições *in loco* do edifício B.

Apartamento	Ambiente	Temperatura medida (°C)	Temperatura simulada (°C)
101	Sala	26,4	25,8
101	Cozinha	26,7	26,1
101	Quarto 1	25,9	25,3
101	Quarto 2	26,1	25,5
102	Sala	26,1	25,3
102	Cozinha	26,1	25,5
102	Quarto 1	25,8	25
102	Quarto 2	25,7	25,1
105	Sala	25,8	25
105	Cozinha	25,8	25,1
105	Quarto 1	25,4	24,6
105	Quarto 2	25,5	24,8
106	Sala	26,1	25,3
106	Cozinha	26,3	25,6
106	Quarto 1	25,6	24,8
106	Quarto 2	25,7	25

Os dados da medição *in loco* realizada em abril de 2024, com a temperatura ambiente média de 22,5°C e umidade relativa de 67%, foram bem abaixo do dia típico de verão simulado, correspondente a 31,2°C. A amplitude térmica demonstra a variação diária de temperatura em abril e ressalta a importância da inércia térmica do edifício, já a baixa precipitação e a umidade relativa média em abril podem ter afetado o desempenho térmico.

A simulação, que não considera umidade explicitamente, pode subestimar o potencial de desconforto em condições mais úmidas e, por ser focada em picos de temperatura, pode não refletir com precisão o comportamento do edifício em dias de grandes variações.

Apesar das limitações, algumas tendências podem ser observadas, como a faixa de conforto térmico, que pode ser diferente para cada usuário. Nas medições *in loco*, as temperaturas internas indicaram valores próximos a 25°C, o que está dentro da faixa de conforto para muitos ocupantes.

A simulação computacional mostrou que a fachada norte-oeste é a menos favorável para o desempenho térmico no verão, sendo necessário realizar a análise paramétrica com a alteração do tipo de vidro e inclusão de peitoril opaco com uso interno de painel de drywall.

Donato e Braga (2018) encontraram variações entre as temperaturas medidas e simuladas em seu estudo de caso com edifícios residenciais em Rondonópolis-MT, tendo atribuído essas variações a fatores como a variação da temperatura externa, a presença de elementos internos e a imprecisão do modelo computacional.

#### **4.4.3 Desempenho acústico**

##### **4.4.3.1 Simulação acústica vs medição *in loco* do edifício A**

As simulações computacionais do edifício A indicaram que todos os apartamentos atendem aos requisitos mínimos de isolamento acústico da NBR 15575. As medições *in loco* confirmaram os resultados das simulações, com níveis de ruído dentro dos limites aceitáveis em todos os ambientes. Pode constatar que a localização dos apartamentos em relação às fontes de ruído (ruas, áreas de lazer, etc.) influencia significativamente no desempenho acústico.

O edifício A com fachada em granito e vidro, apresenta desafios e oportunidades em relação ao desempenho acústico. O granito, material denso e pesado, contribui para o isolamento acústico da fachada, enquanto o vidro, material mais leve, pode comprometer o isolamento se não for especificado corretamente. Nesse sentido, as esquadrias e as juntas de vedação influenciaram significativamente para o desempenho acústico.

É importante considerar o tipo de vidro, a espessura e a presença de câmaras de ar para garantir o desempenho acústico adequado, conforme destacado por Bistafa (2018). Braga e Amorim (2013) reforçam que o som, sentido por variações da pressão do ar, são produzidos por



diversas fontes, com um objeto móvel, como um carro em uma avenida ou por um ventilador dentro da unidade.

Essa transmissão do som pode trazer efeitos negativos ou positivos, dependendo da sua utilização e sensibilidade. O relatório de simulação é um instrumento poderoso para melhorar o ambiente construído, tendo contribuído de forma significativa para os bons resultados obtidos na medição *in loco*, com níveis de ruído aceitáveis em todos os ambientes.

#### **4.4.3.2 Simulação acústica vs medição *in loco* do edifício B**

O desempenho acústico de materiais de construção é caracterizado pela capacidade de reduzir a transmissão de som entre ambientes e ainda entre o exterior e o interior de um edifício. Bistafa (2018) ressalta a importância do conforto acústico em edifícios residenciais, especialmente em áreas urbanas densas, onde a exposição ao ruído pode comprometer a saúde e o bem-estar dos moradores.

Comparando os valores das medições *in loco* e os dados da simulação pode-se observar que os valores foram satisfatórios, sugerindo que as recomendações do relatório de avaliação acústica foram implementadas.

A fachada do edifício B é unitizada composta por alumínio e vidros de alta performance, sendo empregado esquadrias do tipo maxim-ar. Na obra foram empregadas as decisões construtivas apontadas no relatório de simulação acústica. A Figura 56 mostra que as unidades com final 9 e 11 possuem a parede da suíte adjacente, sendo necessário observar as recomendações no relatório de simulação acústica para atender ao ruído mínimo. Neste caso a fiada precisou ser preenchida completamente com argamassa e a alvenaria teve maior espessura, sendo alterada de bloco cerâmico para bloco de concreto.

Figura 56 - Detalhe da planta dos apartamentos finais 9 e 11 que possuem cômodos adjacentes no edifício B.



Fonte: Material fornecido pela empresa construtora dos edifícios avaliados.

Oliveira *et al.* (2022) mostraram os valores de isolamento a ruído aéreo entre ambientes adjacentes promovido por quatro tipos de paredes de alvenaria, duas estruturais e duas de vedação. Os resultados, baseados na análise de ensaios de isolamento sonora mostraram que as paredes de alvenarias de blocos de concreto têm potencial de promover isolamento a ruído aéreo entre unidades quando um dos cômodos é dormitório, sendo necessários cuidados de execução e controle.

Luca (2013) avaliou o isolamento acústico das paredes de drywall e observou que esse alcança facilmente os decibéis de paredes de bloco cerâmico e com uma espessura bem menor. Neto e Bertoli (2010) avaliaram o isolamento acústico das paredes de tijolos cerâmicos de 11,5 cm com 1,5 cm de reboco em cada face e alcançaram 37 decibéis, enquanto Luca (2013) obteve 44 decibéis para uma espessura total de 7,3 cm, em paredes simples de drywall.

## 4.5 Avaliação geral das edificações

### 4.5.1 Aspectos arquitetônicos

Pode-se observar que tanto na projeção quadrada (edifício A) quanto na projeção retangular (edifício B), no verão, o lado mais crítico é o norte-oeste para as condições climáticas avaliadas.

Em ambos os edifícios, a fachada apresenta um avanço de 2 metros em relação ao alinhamento predial. Nesse trecho, o fechamento é composto por janelas nas duas paredes externas, o que garante a transparência visual e a permeabilidade da fachada. Essa exigência, prevista nas normas urbanísticas do setor Noroeste, visa promover a integração entre o espaço

público e o privado, além de favorecer a iluminação natural e a ventilação dos ambientes internos. A transparência da fachada contribui para o desempenho lumínico dos edifícios e permite a entrada de luz natural nos apartamentos, além de influenciar o desempenho térmico, aumentando o ganho de calor em períodos de alta incidência solar.

Os resultados de desempenho dependem de vários fatores, além do tamanho da área envidraçada, do tipo de vidro, da composição dos fechamentos opacos, principalmente da cobertura, e da geometria do ambiente. O atendimento ao nível recomendado, nos casos observados, só é possível com especificação de vidros de controle solar, com fator solar abaixo de 40%. Ainda assim, observa-se casos que, embora se utilize o vidro de melhor performance, o desempenho mínimo só é alcançado com a aplicação das estratégias adicionais de ventilação natural e de sombreamento das aberturas.

O edifício *A*, composto por apartamentos de 30 a 53 m<sup>2</sup> com salas comerciais no térreo e subsolo, possui fachada composta por granito e vidro. O custo do vidro no empreendimento foi equivalente a 1% do orçamento, sendo que as esquadrias metálicas corresponderam a 6,9% e os revestimentos externos a 2,5% do total da obra. No edifício *A*, os apartamentos de meio, por terem menos área de fachada, a entrada de luz é significativamente inferior à dos apartamentos de canto. Além disso, também há maior obstrução do céu em virtude do edifício vizinho, principalmente na fachada oeste.

No edifício *B*, quadrado com 2 pavimentos, a solução para a iluminação dos apartamentos locados no centro da projeção é a criação de átrios internos com largura mínima necessária para atendimento das unidades adjacentes ao nível mínimo de desempenho Lumínico, visando minorar a perda de área útil privativa interna. Os apartamentos voltados para estes átrios não possuem vista externa.

O edifício *B* possui fachada unitizada, que é um sistema construtivo de fechamento de edifícios em que painéis pré-fabricados, compostos por esquadrias de alumínio e vidro, são instalados diretamente na estrutura do edifício. Esses painéis são fabricados em módulos grandes (unitários), já prontos com todas as camadas necessárias para o sistema de vedação (vidro, isolamento, vedações), e depois fixados no edifício, o que garante maior rapidez na montagem e precisão nas instalações.

No edifício *B* as esquadrias metálicas e os vidros corresponderam a 11,13% do custo total do empreendimento. Nele, o item esquadrias metálicas e alumínio é composto por serralheria, alumínio e diversos, equivalentes a 10,14%, 88,02% e 1,83%, respectivamente,

onde as esquadrias de alumínio correspondem a 76% do custo do item esquadrias da obra, equivalente a quase 10% do custo total da obra. O serviço de alumínio é composto por esquadrias e brise, utilizado nas fachadas. O vidro utilizado é do tipo laminado com controle solar de 8 mm de alta performance.

Uma das principais questões da construção de edifícios está relacionada à durabilidade das fachadas em virtude da consciência ambiental e do desenvolvimento sustentável. Os sistemas de envoltória do edifício, especificamente as fachadas, têm uma contribuição significativa no desempenho e durabilidade do edifício.

Souza (2019) propõe modelos de estimativa de vida útil capazes de ponderar sobre a influência dos fatores condicionantes de degradação de revestimentos cerâmicos de fachadas por meio da aplicação do método de mensuração de degradação e da definição do limite máximo aceitável de degradação. O estudo permitiu identificar as diferenciações do processo de degradação em função dos aspectos construtivos e das condições de exposição dos sistemas de revestimento de fachadas. Mesmo que haja mudança do comportamento de degradação para diferentes localizações geográficas dos edifícios, ele observou que a degradação de sistemas de revestimento cerâmico de fachadas é caracterizada principalmente pelo descolamento cerâmico.

Silva e Paula (2023) avaliaram a aplicação de materiais translúcidos e transparentes em fachadas de edificações em relação ao desempenho térmico, sendo estes os vidros planos refletivos metalizados a vácuo, os policarbonatos e o vidro eletrocromico, caracterizando suas propriedades e associando as mesmas ao atendimento das diretrizes de desempenho térmico propostas pela NBR 15220-3 (2005), que aborda o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas associadas a estas zonas.

Medidas de controle solar e o uso de materiais com alta resistência térmica foram associados ao uso do vidro plano refletivo metalizado à vácuo, recomendado para o clima tropical quente e subúmido, com altos índices pluviométricos no período de verão, no caso da zona bioclimática 6 (Silva e Paula, 2023). O material apresenta maior resistência térmica com condutividade de 0,21 W/m.K., reduzindo o ganho de calor no período de verão e a perda do mesmo no inverno. Além disso, como diretrizes associáveis aos materiais, a pesquisa recomenda a existência de aberturas sombreadas de tamanho médio (15% a 25% da área de piso); o uso de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento no verão; e ainda ventilação seletiva quando a temperatura externa é menor que a interna no verão.

A Tabela 45 apresenta recomendações para estratégias e algumas soluções arquitetônicas propostas para melhor desempenho de edifícios com características semelhantes às aqui avaliadas.

Tabela 45 - Estratégias e soluções arquitetônicas para melhor desempenho de edifícios com características semelhantes às aqui avaliadas.

<b>Estratégias</b>	<b>Soluções arquitetônicas</b>	<b>Descrição das soluções</b>
<b>Aproveitamento da ventilação natural</b>	Implantação do edifício no terreno	Fachadas posicionadas para a direção que favoreçam a ventilação
	Formato do edifício	Forma alongada e elíptica do edifício possibilita a ventilação cruzada e a captação dos ventos de diferentes direções
	Fachadas permeáveis	Fechamento da fachada Sudeste com brises e da fachada Noroeste com cobogós para possibilitar a ventilação cruzada
<b>Sombreamento</b>	Proteção solar	Elementos de proteção solar foram utilizados nas aberturas zenitais e laterais a fim de evitar o ganho de carga térmica com a entrada de radiação solar direta. Na fachada Sudeste foram utilizados brises com diferentes espaçamentos e na fachada Noroeste, cobogós com diferentes dimensões de abertura, devido ao fato dessas fachadas serem curvas e receberem radiação solar de modo diferente
<b>Amortecimento térmico</b>	Isolamento térmico na cobertura	Camada de EPS entre a estrutura e o piso “morto” da laje externa
	Vidro com fator solar baixo	Vidro de vedação das aberturas zenitais com fator solar de 0,3
<b>Aproveitamento da iluminação natural indireta</b>	Aberturas com átrio central no edifício A	Abertura central no edifício A, de formato quadrado, permitindo aproveitamento da iluminação natural
	Aberturas laterais com vidros de alta performance	Fechamento das maiores fachadas com vidro do piso ao teto para aproveitamento da iluminação natural lateral

A orientação solar é um dos principais fatores que influenciam o desempenho térmico de edificações. A maior área envidraçada na fachada somada à orientação solar, pode ter resultado em temperaturas internas mais elevadas no edifício.

A implantação dos edifícios no terreno também influenciou no desempenho ambiental. O edifício A, implantado em um terreno com menor adensamento construtivo, apresentou melhor desempenho acústico em comparação com o edifício B, localizado em uma área com maior adensamento e tráfego de veículos. Essa diferença de implantação destaca a importância de considerar o entorno da edificação no projeto, a fim de minimizar os impactos negativos do ruído externo.

A geometria das plantas, outro fator relevante para o desempenho ambiental, também foi analisada. O edifício B, com planta mais compacta e regular, apresentou menor área de

fachada exposta à radiação solar, o que contribuiu para a redução do ganho de calor. No edifício A, com maior diversidade de tipologias e presença de plantas arquitetônicas mais profundas, resultou em maior área de fachada exposta e menor ventilação pela extensão das plantas, o que pode ter contribuído para o aumento da temperatura interna.

Os elementos de sombreamento, como brises, também foram considerados no projeto de ambos os edifícios. No edifício B, a presença de brises metálicos móveis na fachada oeste permitiu um controle mais preciso da incidência solar, contribuindo para a redução do ganho de calor. Krüger (2020) destaca a importância da utilização de elementos de sombreamento para a mitigação dos efeitos climáticos no ambiente urbano e a criação de microclimas mais agradáveis.

A análise integrada dos resultados demonstra que as decisões arquitetônicas, como orientação solar, implantação, geometria das plantas, escolha de materiais e elementos de sombreamento, influenciam diretamente o desempenho ambiental das edificações. A combinação de diferentes estratégias, como a utilização de vidros com menor transmitância, fachadas unitizadas, brises metálicos móveis e plantas compactas, contribuiu para o melhor desempenho ambiental do edifício B.

A Tabela 46 apresenta de forma resumida as características técnicas dos principais materiais utilizados na envoltória dos edifícios avaliados. Cada material apresenta propriedades específicas que influenciam no desempenho observado, seja na absorção e reflexão sonora, na inércia térmica, na transmitância térmica e na interação com a luz natural.

Tabela 46 - Características técnicas dos materiais da envoltória dos edifícios avaliados.

Material	Característica Acústica	Característica Térmica	Característica Lumínica
<b>Tijolo cerâmico. Edifício A</b>	- Boa absorção sonora em médias e altas frequências. - Massa relativamente baixa, pode requerer complementação para melhor isolamento.	- Inércia térmica moderada, ajuda a regular a temperatura interna.- Transmitância térmica varia conforme o tipo de tijolo e espessura da parede.	Quanto maior a superfície opaca na fachada, menor incidência solar
<b>Bloco de concreto - Edifício B</b>	O isolamento acústico dos blocos de concreto preenchido e possuindo maior massa consegue ter maior isolamento acústico	- O concreto possui baixa inércia térmica, o que significa que ele aquece e esfria rapidamente.-Para melhorar o isolamento térmico, podem ser utilizados blocos de concreto celular ou blocos com revestimentos isolantes.	Quanto maior a superfície opaca na fachada, menor incidência solar

<b>Granito (revestimento externo)</b>	- Reflete o som, podendo contribuir para a reverberação em áreas externas.	- Baixa absorvância térmica, pode aumentar o ganho de calor em fachadas expostas ao sol.	- Reflete a luz em seu acabamento polido, podendo causar ofuscamento em algumas situações para a parte externa da edificação
<b>Vidro (janelas)</b>	- Isolamento acústico varia conforme o tipo de vidro (simples, duplo, laminado, etc.) e espessura.	- Alta transmitância térmica, pode aumentar o ganho de calor em fachadas expostas ao sol.- Vidros de baixa emissividade podem reduzir o ganho de calor.	- Alta transmitância luminosa, permite a entrada de luz natural.
<b>Esquadrias de alumínio (janelas)</b>	- Influenciam o isolamento acústico em conjunto com o vidro. -Esquadrias com boa vedação contribuem para reduzir a transmissão de ruído.	- Alta condutividade térmica, pode aumentar as perdas de calor no inverno. - Esquadrias com ruptura de ponte térmica podem melhorar o isolamento térmico.	- Influenciam a iluminação natural de acordo com o tamanho e posicionamento das janelas.

A escolha dos materiais influenciou diretamente no desempenho ambiental das edificações. O edifício *B*, com fachada unitizada e vidros duplos de baixa emissividade, apresentou melhor desempenho térmico em comparação com o edifício *A*, que utiliza vidros com maior emissividade.

A utilização de materiais com melhores propriedades térmicas como os vidros com tecnologia para controle de transmissão térmica contribuiu para a redução do ganho de calor e para o aumento do conforto térmico no edifício *B*, conforme observado por Souza *et al.* (2020) em seu estudo sobre desempenho acústico em escolas.

Santos (2022) e Durante *et al.*, (2020) investigaram o desempenho ambiental de edificações residenciais em diferentes contextos climáticos e construtivos, utilizando métodos de análise comparando dados de simulação computacional e medições *in loco*.

Os resultados da pesquisa corroboram estudos de Ferreira e Carlo (2023) e Silva *et al.* (2023) que demonstram a importância da arquitetura bioclimática na concepção de edificações mais eficientes e sustentáveis. A arquitetura bioclimática busca integrar a edificação ao clima e ao ambiente, utilizando estratégias de projeto que promovam o desempenho ambiental e a eficiência energética.

#### 4.5.1.1 Análise da taxa de vedação envidraçada (WWR)

A taxa de área de vedação envidraçada, representada pela sigla WWR, que em inglês significa *Window to Wall Ratio*, descreve a proporção da área de janelas em relação à área total de parede. Essa taxa é importante para a iluminação natural, pois quanto maior, melhor a entrada de luz natural no ambiente, reduzindo o uso de luz artificial e melhor a proporção de vistas para o exterior, melhorando a conexão dos ocupantes com o ambiente externo.

A ventilação natural, alcançada por janelas maiores, pode reduzir a dependência de sistemas mecânicos de ventilação. Contudo, para o ganho de calor solar, embora a luz natural seja benéfica, uma WWR muito alta pode levar a um ganho excessivo de calor solar, especialmente em climas quentes, o que aumenta a demanda por resfriamento. Assim, para a eficiência energética, a WWR ideal equilibra a entrada de luz natural com o controle do ganho de calor solar, contribuindo para a eficiência energética geral do edifício.

O clima influencia em uma WWR ideal, já que em climas quentes, uma taxa menor pode ser mais adequada para evitar o superaquecimento. A orientação das fachadas voltadas para o norte recebe mais luz solar direta, o que exige uma WWR menor para controlar o ganho de calor, já as fachadas voltadas para o sul recebem menos luz solar direta, permitindo uma taxa maior. O tipo de vidros de alto desempenho com revestimentos de baixa emissividade e controle solar pode permitir uma taxa maior, pois minimizam o ganho de calor solar indesejado (Athienitis, 2008).

Athienitis (2008) observou que taxas mais altas podem levar a um aumento significativo no consumo de energia com ar condicionado. Brager (2008) observou que o uso de elementos de sombreamento, como as varandas, pode levar a uma significativa redução no consumo de energia para ar condicionado.

A Tabela 47 e 48 apresenta a porcentagem de área envidraçada de alguns apartamentos do edifício *A* e do edifício *B*, e a temperatura obtida *in loco* nas unidades. No edifício *A* a taxa variou de 51% a 100% e no edifício *B* a taxa foi de 71% e 92%.



Tabela 47 - Taxa de área de vedação envidraçada (WWR), em %, em apartamentos do edifício A e a temperatura média obtida *in loco*.

Edifício A	WWR (%)	Temperatura média (°C)
Apto 106	100%	28,1
Apto 115	100%	26,2
Apto 116	80%	25,8
Apto 117	55%	27,4
Apto 219	51%	27,9

Tabela 48 - Taxa de área de vedação envidraçada (WWR), em %, em apartamentos do edifício B e a temperatura média obtida *in loco*.

Edifício B	WWR (%)	Temperatura média (°C)
Apto 101	81%	28,1
Apto 102	73%	26,2
Apto 105	92%	25,8
Apto 106	71%	27,4
Apto 211	71%	27,9

A variação na taxa de envidraçamento é proporcional às tipologias de unidades e a posição das janelas nas fachadas. Nas unidades 106 e 115 do edifício A, isso representa maior incidência solar, o que pode resultar em temperaturas mais elevadas, especialmente no verão, contudo mais luminosidade.

No edifício B a taxa apresentou menores variações entre os apartamentos avaliados, o que pode ser atribuído pela presença de brises metálicos e maiores áreas envidraçadas, por ser uma fachada unitizada, com aberturas piso teto.

O vidro proporciona ganho térmico no verão, privilegiando o conceito estético da fachada, embora necessário, muitas vezes, para alcançar desempenho luminoso. Foi utilizado janelas maxim-ar nos apartamentos orientados para a rua principal com criterioso sistema de vedação para garantir a qualidade na vedação acústica, embora isto reduza a ideia de uma cortina de vidro limpa, sem interferência de caixilhos e com menor ventilação natural dos ambientes.

A análise da taxa WWR sugere a importância de buscar o equilíbrio entre a iluminação natural e o controle do ganho de calor. Athienitis (2008) considera a faixa de WWR ideal para Brasília de 30% a 40%, demonstrando que taxas mais altas podem levar a um aumento significativo no consumo de energia.

Contudo, os resultados observados no presente estudo, que considera a norma de desempenho como requisito de projeto, mostraram que, para as tipologias aqui estudadas, que caracterizam as novas projeções do plano piloto de Brasília, para atender as demandas de desempenho luminoso, por exemplo, pode ocorrer interferências no desempenho térmico, dificultando as tomadas de decisões. Portanto, pode ser necessário o uso de persianas ou condicionamento de ar para garantir o conforto dos ambientes, considerando as exigências necessárias para alcançar os parâmetros da norma de desempenho térmico, luminoso e acústico.

#### **4.5.2 Desempenho do edifício**

A otimização da iluminação natural, com o uso de cores claras, materiais reflexivos e posicionamento estratégico das aberturas, é crucial para o conforto e bem-estar dos usuários (Frota e Schiffer, 2003).

A opção de recuar internamente a fachada, perdendo área privativa, bem como o uso de varanda nos cantos da projeção, são opções positivas, mas conforme observado por Glehn e Kos (2021) são pouco utilizadas no setor Noroeste.

O pretexto para atendimento do desempenho térmico mínimo é o sombreamento externo ou interno, que bloqueia, no mínimo, 50% da radiação direta. O artifício mais usual em projeto é a especificação de um peitoril opaco interno, com características de transmitância térmica e capacidade térmica que permitam atendimento por simulação. Contudo, isso não garante o desempenho térmico mínimo, pois este depende da orientação solar e da geometria do ambiente, sendo necessário combinar a taxa de ventilação e o sombreamento interno para alcançar a temperatura de 31,2°C.

Outro caminho é a especificação de vidros duplos com fator solar baixo, isolamento muito eficiente de cobertura e uso de proteções solares externas ou internas (cortinas e persianas), cuja utilização e manutenção dependem do usuário.

As projeções avaliadas atendem ao desempenho lumínico em conformidade com a NBR 15575 no setor Noroeste, tendo se mostrado adequadas após a análise com medições no local.

Pode-se observar que a maior dificuldade do projeto frente à legislação foram as profundidades dos apartamentos, em virtude dos avanços em espaço aéreo e o sombreamento das caixas de escada, quando existentes. Os edifícios possuem mais de 50% de fachada em vidro e isso garante boa iluminação natural para os cômodos com profundidades médias inferiores a 5 metros.

Glehn e Kos (2021) observaram que no setor Noroeste, na cidade de Brasília, ao menos 50% da fachada é, impreterivelmente, formada com vedação transparente, exigindo melhor qualidade dos vidros de controle solar, a fim de minimizar os ganhos térmicos pelas áreas envidraçadas.

É importante ressaltar que não necessariamente o conforto e o desempenho andam juntos. Um ambiente pode atender ao desempenho mínimo e não apresentar conforto térmico ao usuário. Estudos de bioclimatologia de Givoni verificam que a sensação de conforto térmico para os habitantes de países tropicais pode ser obtida entre temperaturas de 18°C e 29°C e umidade relativa variando de 20% a 80% (Lamberts *et al.*, 2015). Quando o edifício não proporciona conforto em seu interior, o usuário buscará condicionamento artificial, o que impacta diretamente o consumo energético.

Alves (2019) avaliou o desempenho térmico na cidade de São Paulo por meio de simulações computacionais de edifícios em altura, e dentre as diversas alterações propostas, observou que, para a redução das temperaturas operativas, as principais soluções foram: inserção de brises, aumento da taxa de ventilação (ou ventilação noturna), sombreamento pelo entorno e outras ações que por sua vez promovem, principalmente, o aumento da temperatura operativa, como por exemplo o aumento da área envidraçada, aumento da carga térmica interna (que é pouco controlado pelo projetista) e clima em aquecimento (aquecimento global e ilha de calor urbana).

Para atendimento ao desempenho térmico é imperativo o uso de vidro de controle solar com fator solar baixo. Com isso, a especificação do vidro da fachada se torna mais um desafio. No edifício A, a transmissão luminosa ficou abaixo de 40%, enquanto a transmissão luminosa de vidro incolor gira em torno de 88%. Assim, quanto maior a transmissão luminosa em relação ao fator solar, mais caro é o vidro. Uma das soluções seria especificar vidros mais escuros, com fator solar mais baixo nos apartamentos de canto e vidros mais claros nos apartamentos de meio, a depender da orientação solar.

Pode-se observar nas projeções avaliadas que a arquitetura e a volumetria foram pensadas em função do projeto urbanístico do bairro, que associado à legislação e as normas de desempenho trazem limitações quanto ao material usado na fachada, exigindo transparência visual em detrimento das faces opacas nos avanços em espaço aéreo e apartamentos mais profundos. Uma análise comparativa simplificada entre os dados coletados e os valores da simulação são apresentados na Tabela 49.

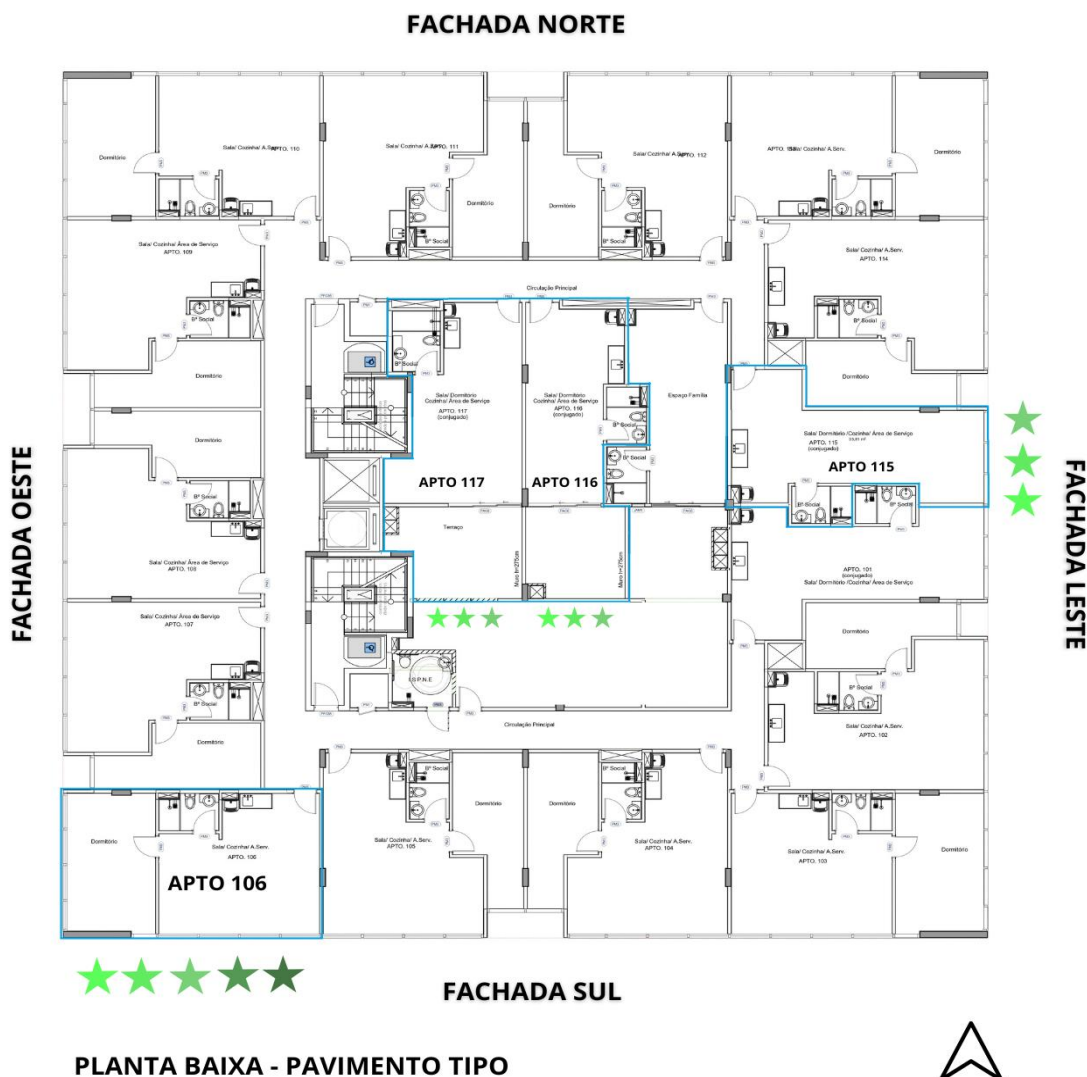
Tabela 49 - Análise comparativa entre dados das medições *in loco* e das simulações, segundo os critérios da NBR 15575, para os edifícios avaliados.

Edifício	Desempenho	Medição <i>in loco</i>	Simulação Computacional	NBR 15575:2013 (dia típico de verão)
A	Térmico	Temperatura média do ar entre 26,2°C e 27,9°C	Temperatura operativa entre 27,1°C e 28,3°C	Temperatura máxima de 32,7°C para o dia típico de verão
	Lumínico	Iluminância média entre 603 lux e 943 lux	Iluminância entre 60 lux e 120 lux	Iluminância mínima de 60 lux
	Acústico	Nível de pressão sonora entre 20,4 dB e 27,7 dB	Nível de pressão sonora entre 33,3 dB e 69,2 dB	Nível de pressão sonora máximo de 80 dB
B	Térmico	Temperatura média do ar entre 25,8°C e 26,5°C	Temperatura operativa entre 25,1°C e 26,1°C	Temperatura máxima de 31,2°C para o dia típico de verão
	Lumínico	Iluminância média entre 696 lux e 986 lux	Iluminância entre 90 lux e 120 lux	Iluminância mínima de 60 lux
	Acústico	Nível de pressão sonora entre 23,1 dB e 26,8 dB	Nível de pressão sonora entre 35 dB e 54,1 dB	Nível de pressão sonora máximo de 80 dB

#### 4.5.2.1 Desempenho luminoso

A Figura 57 apresenta, em um esquema ilustrativo da envoltória do edifício A, o resumo da classificação do desempenho luminoso das unidades avaliadas com base nas medições *in loco*. A classificação utilizada foi de iluminância, sendo 3 estrelas atribuídas para valores até 600 lux; 4 estrelas para valores entre 601 e 700 lux; e 5 estrelas para valores acima de 700 lux, semelhante à proposta visual apresentada por Araújo (2021).

Figura 57 – Classificação resumida do desempenho luminoso do edifício A.



É possível observar que os apartamentos com maior iluminância são aqueles localizados nas extremidades do edifício, como a unidade 106, que recebe luz natural de duas fachadas e possui grande área envidraçada, mostrando que a incidência solar na edificação possui relação direta com o conforto lumínico.

Os resultados mostraram que o desempenho luminoso foi alcançado com a correta combinação do tipo de vidro e a área envidraçada do edifício A.

A Figura 58 apresenta, em um esquema ilustrativo da envoltória do edifício B, o resumo da classificação do desempenho luminoso das unidades avaliadas com base nas medições *in loco*. A classificação utilizada foi de iluminância, sendo 3 estrelas atribuídas para valores até 600 lux; 4 estrelas para valores entre 601 e 700 lux; e 5 estrelas para valores acima de 700 lux, semelhante à proposta visual apresentada por Araújo (2021).

Figura 58 – Classificação resumida do desempenho luminoso do edifício *B*.



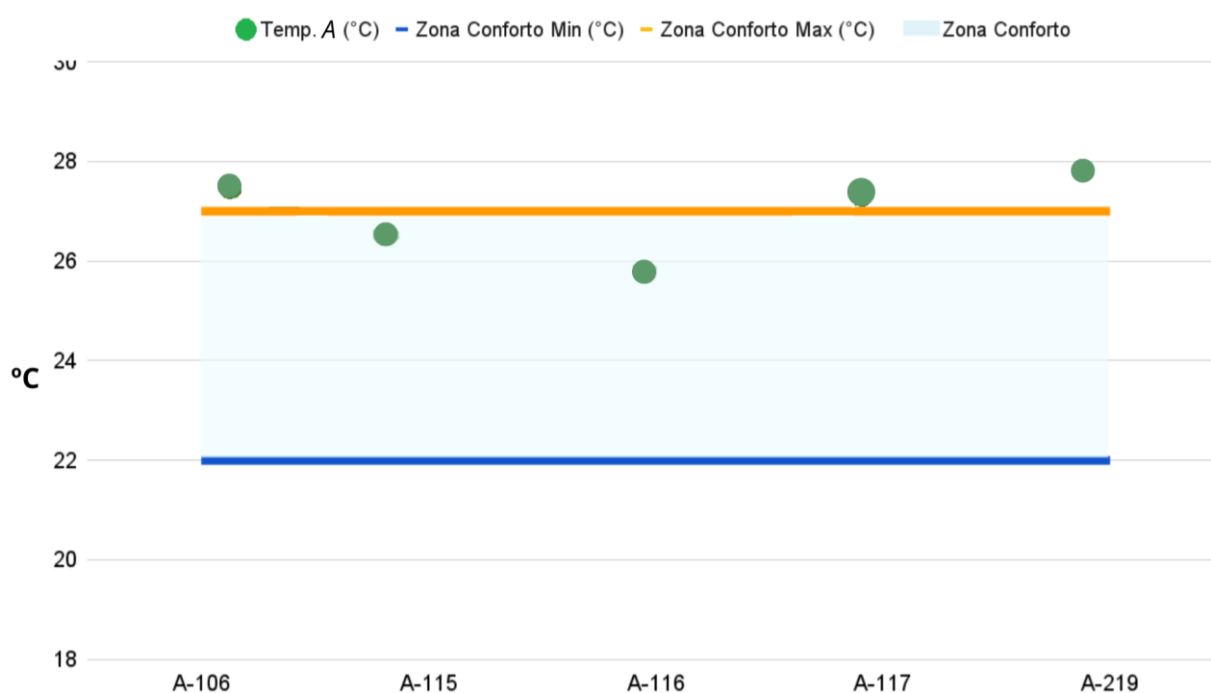
No edifício *B*, os apartamentos com maior iluminância são as unidades 101 e 102, localizados na fachada norte, que possuem, ainda, maior área envidraçada. O edifício possui apartamentos de 2 e 3 quartos, ambientes mais profundos, o que pode ter influenciado na distribuição da luz natural em algumas unidades. Além disso, a presença de edifícios próximos pode ter causado sombreamento em alguns apartamentos.

Corbella e Yannas (2003) ressaltam a importância de considerar o entorno da edificação no projeto de iluminação, afirmando que a presença de obstruções, como edifícios vizinhos e vegetação, pode afetar a quantidade de luz natural que incide nos ambientes internos.

#### 4.5.2.2 Desempenho térmico

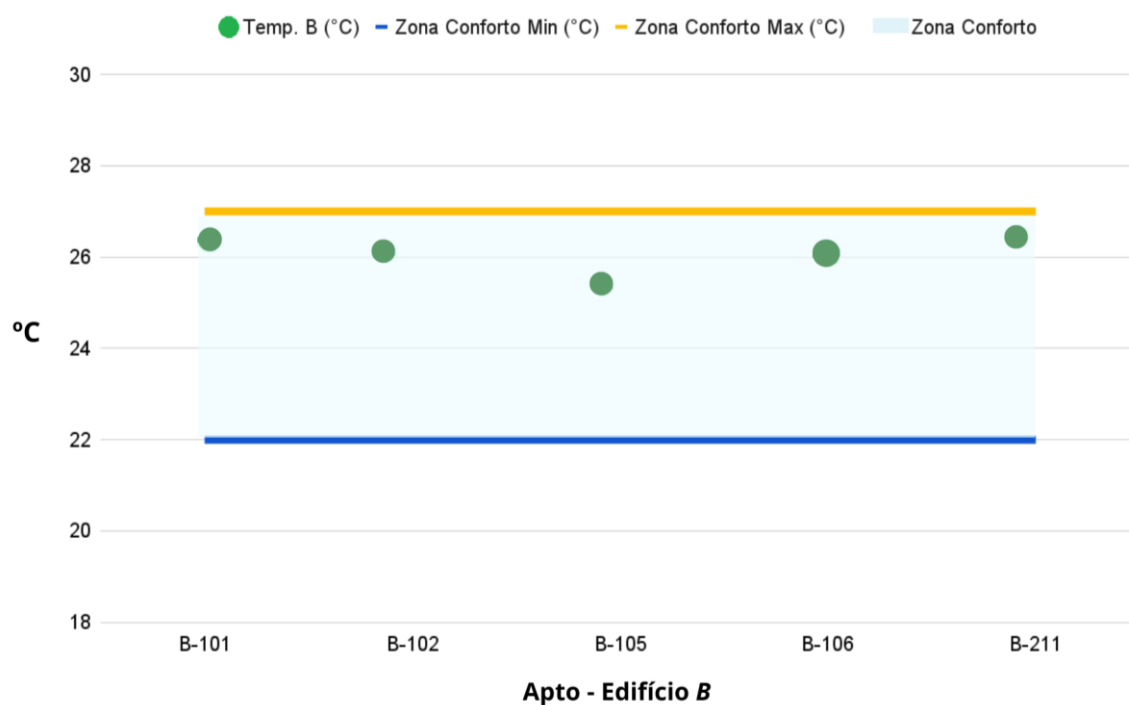
As unidades nos pavimentos mais altos possuem recebem maior incidência solar, especialmente na fachada norte. A Figura 59 apresenta os valores da temperatura, em °C, dos apartamentos 106, 115, 116, 117 e 219, respectivamente, do edifício *A* e representa a zona de conforto entre as linhas azul e laranja. Pode-se observar que as unidades 106, 117 e 219 necessitam de maiores cuidados no mês de abril, onde foram coletadas as medidas da temperatura no presente estudo.

Figura 59 - Valores médios da temperatura, em °C, dos apartamentos 106, 115, 116, 117 e 219 do edifício A e a faixa de conforto térmico.



A Figura 60 apresenta os valores da temperatura, em °C, dos apartamentos 101, 102, 105, 106 e 211, respectivamente, do edifício B e representa a zona de conforto entre as linhas azul e laranja, segundo os critérios propostos pela Projeteee (2024). Pode-se observar que todas as unidades apresentaram temperatura dentro da faixa de conforto nos dias que foram coletadas as medidas. Esse resultado sugere que as estratégias de projeto adotadas na edificação, como a escolha de materiais, a orientação solar e a presença de elementos de sombreamento, contribuíram para garantir um bom desempenho térmico e o conforto dos moradores no mês avaliado.

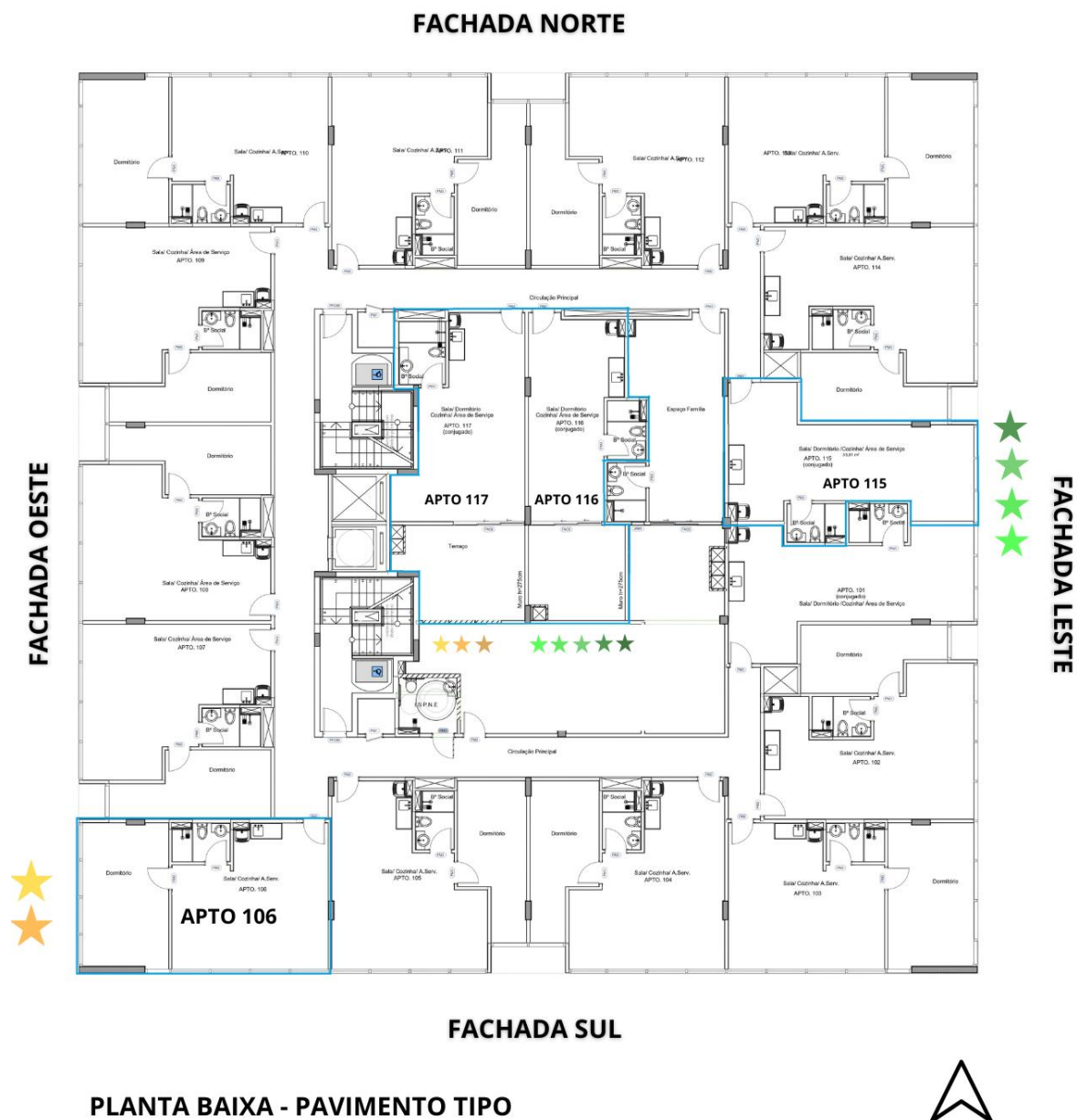
Figura 60- Comparação entre as temperaturas internas dos apartamentos do edifício *B* e a faixa de conforto térmico.



A Figura 61 apresenta, em um esquema ilustrativo da envoltória do edifício *A*, o resumo da classificação do desempenho térmico das unidades avaliadas com base nas medições *in loco*. A classificação variou de insatisfatório a superior, indo de 1 a 5 estrelas, respectivamente, representando o desempenho quanto maior, ou superior, maior o número de estrelas, semelhante a proposta de discussão de resultados apresentada por Araújo (2021).



Figura 61 – Classificação resumida do desempenho térmico do edifício A.



LEGENDA	
Desempenho superior	★★★★★
Desempenho intermediário superior	★★★★☆
Desempenho intermediário	★★★☆☆
Desempenho mínimo	★★☆☆*
Desempenho inferior	★☆☆**

Observa-se que a unidade 116 do edifício A apresentou o melhor desempenho térmico, enquanto os apartamentos 106 e 219 apresentaram o menor desempenho. Os apartamentos 106

e 219 estão voltados para a face oeste e norte, respectivamente, recebendo maior incidência solar no período da tarde. O apartamento 115, com desempenho intermediário superior, está voltado para a face leste, recebendo o sol da manhã, que é menos intenso.

A localização da unidade 116, central, mais próxima à fachada leste, está menos exposta ao calor, beneficiando do efeito de massa térmica das paredes adjacentes. Já o apartamento 117, mais próximo à extremidade oeste, fica mais suscetível ao calor do sol da tarde, mesmo com as aberturas voltadas para o sul.

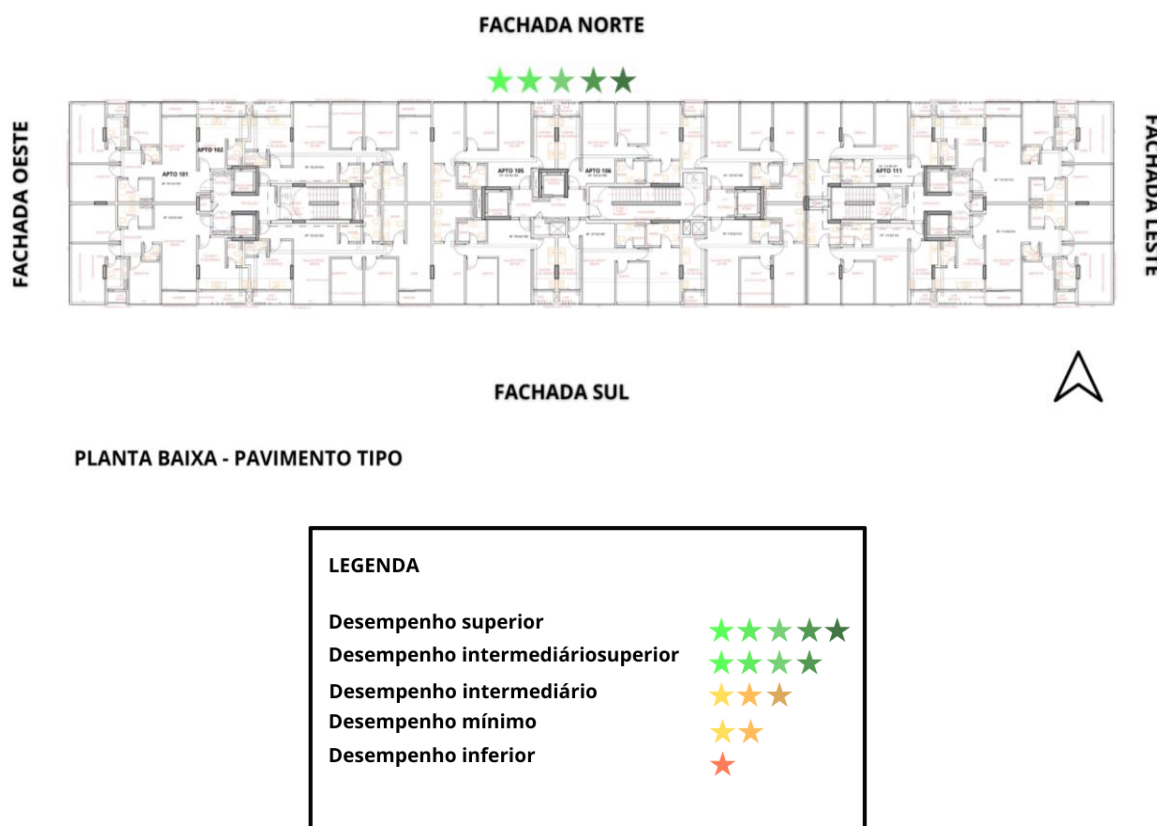
Outro fator a ser considerado é a ventilação natural, o apartamento 117 possui metragem maior em relação ao apartamento 116, mas suas aberturas têm a mesma dimensão, o que resulta em mais ventilação proporcionalmente para a unidade 116.

Essa análise sugere que a orientação solar, mesmo não sendo o único fator determinante, influencia o desempenho térmico dos apartamentos. As faces oeste e norte, que recebem maior incidência solar, tendem a apresentar maior ganho de calor, o que pode comprometer o desempenho térmico, especialmente nos períodos mais quentes do ano.

É importante observar que outros fatores, como a área das aberturas, a presença de elementos de proteção solar e a ventilação natural, também podem influenciar o desempenho térmico e devem ser considerados na análise.

A Figura 62 apresenta, em um esquema ilustrativo da envoltória do edifício *B*, o resumo da classificação do desempenho térmico das unidades avaliadas com base nas medições *in loco*. A classificação variou de insatisfatório a superior, indo de 1 a 5 estrelas, respectivamente, representando o desempenho quanto maior, ou superior, maior o número de estrelas, semelhante a proposta de discussão de resultados apresentada por Araújo (2021). Observa-se que todos os apartamentos analisados apresentaram bom desempenho térmico, o que demonstra a eficiência das estratégias de projeto e das características construtivas do edifício.

Figura 62 – Classificação resumida do desempenho térmico do edifício *B*.



O desempenho térmico superior pode ser atribuído a uma combinação de fatores, incluindo as características da envoltória e as estratégias de projeto utilizadas. É importante destacar que, em Brasília, a fachada norte é a que recebe maior incidência solar, especialmente durante o período de inverno, quando o sol se encontra mais baixo no céu. O edifício *B* está implantado em um terreno com a fachada principal voltada para o norte, o que permite que os apartamentos recebam maior incidência solar e esteja sujeita a um maior ganho de calor durante o verão, o que exige estratégias de proteção solar para evitar o superaquecimento nesta face.

O edifício *B* apresenta uma envoltória com paredes externas e cobertura bem isoladas, o que reduz a transferência de calor entre o interior e o exterior da edificação. As paredes externas são compostas por blocos de concreto com 12 cm de espessura e revestimento em granito, enquanto a cobertura possui isolamento térmico em manta asfáltica e câmara de ar.

Baseado nas simulações computacionais foram previstas diversas estratégias para otimizar o desempenho térmico, como a ventilação natural, a proteção solar e a escolha de materiais de construção adequados. Foram utilizados brises metálicos móveis na fachada norte que proporcionam sombreamento e reduzem o ganho de calor, especialmente durante o verão.

Outro fator importante é a escolha de materiais com alta inércia térmica, como o concreto e o granito, que auxiliam na regulação da temperatura interna dos ambientes.

#### 4.5.2.3 Desempenho acústico

A Tabela 50 apresenta uma análise comparativa simplificada do desempenho acústico do edifício A baseado nas medições *in loco* e nas simulações computacionais, segundo as exigências da norma de desempenho.

Tabela 50 - Análise comparativa de resultados de desempenho acústico do edifício A.

Sistema	Elemento	Simulação Computacional	Medição <i>in loco</i>	NBR 15575 (mínimo)
<b>Pisos entre unidades</b>	Ruído de impacto (LnTw)	64,7 dB a 69,2 dB	20,4 dB a 27,7 dB	≤ 80 dB
<b>Pisos entre unidades</b>	Ruído aéreo (DnTw)	45,2 dB a 57,8 dB	Não avaliado	≥ 45 dB
<b>Vedações internas</b>	Isolamento de ruído aéreo (DnTw)	33,3 dB a 43,8 dB	Não avaliado	≥ 40 dB (paredes internas) ≥ 45 dB (paredes entre unidades)
<b>Vedações verticais</b>	Fachadas (D2m,nT,w)	20,1 dB a 30,9 dB	Não avaliado	≥ 20 dB

Pode-se observar que os valores de ruído de impacto entre unidades (LnTw) está bem abaixo do limite de 80 dB, indicando bom isolamento acústico entre os apartamentos. O mesmo ocorre com o ruído aéreo entre unidades (DnTw), cujos valores estão acima do mínimo de 45 dB. As vedações internas também apresentaram desempenho satisfatório, com valores, em DnTw, acima dos mínimos exigidos.

Esse resultado sugere que as recomendações do relatório acústico foram seguidas e implementadas com sucesso na obra, demonstrando atenção aos parâmetros de desempenho acústico, garantindo o conforto dos moradores em relação aos ruídos aéreos e de impacto. A avaliação *in loco* não incluiu análise das fachadas.

A Tabela 51 apresenta uma análise comparativa simplificada do desempenho acústico do edifício *B* baseado nas medições *in loco* e nas simulações computacionais, segundo as exigências da norma de desempenho.

Tabela 51 - Análise comparativa de resultados de desempenho acústico do edifício B.

Sistema	Elemento	Simulação Computacional	Medição <i>in loco</i>	NBR 15575 (mínimo)
Pisos entre unidades	Ruído de impacto (LnTw)	50,8 dB a 54,1 dB	23,1 dB a 26,1 dB	≤ 80 dB
Pisos entre unidades	Ruído aéreo (DnTw)	47,8 dB a 59,1 dB	Não avaliado	≥ 45 dB
Vedações internas	Isolamento de ruído aéreo (DnTw)	34 dB a 48,4 dB	Não avaliado	≥ 40 dB (paredes internas) ≥ 45 dB (paredes entre unidades)
Vedações verticais	Fachadas (D2m,nT,w)	20 dB a 30,9 dB	Não avaliado	≥ 20 dB

Os resultados apontam que os valores medidos *in loco* foram superiores aos previstos na simulação, indicando que foram implementadas as recomendações de isolamento acústico propostas pelos relatórios de desempenho realizados pela empresa especializada. Os resultados ficaram abaixo de 80 decibéis, estabelecido pela NBR 15575.

O desempenho acústico é um essencial para a qualidade de vida dos moradores, pois o ruído excessivo pode causar desconforto e conflitos. Pode-se observar nos edifícios avaliados a preocupação em garantir a vedação de portas e janelas, uso de materiais que absorvam ou bloqueiam o som, uso de espuma acústica nas paredes entre unidades, utilização de janelas antirruído nas fachadas voltadas para ruas de maior fluxo de veículos e uso de portas com isolamento acústico.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

A norma de desempenho representa um considerável avanço na busca pela melhoria na qualidade da construção civil brasileira. O presente estudo analisou o desempenho térmico, luminoso e acústico de dois edifícios residenciais em Brasília, utilizando essa norma como critério, comparando dados de simulações computacionais realizados por empresas especializadas com dados coletados *in loco* segundo as condições reais.

A metodologia utilizada, que combinou simulações computacionais e medições *in loco* realizadas na pesquisa, permitiu uma análise abrangente do desempenho ambiental dos edifícios, considerando tanto as condições de projeto quanto o comportamento real das edificações. Essa abordagem contribuiu para a verificação das ferramentas de simulação e para a identificação de possíveis divergências entre o previsto e o medido. Os resultados da pesquisa fornecem um panorama do cenário residencial e de uso misto de duas edificações no Noroeste-se, e geraram reflexões relevantes sobre as condições de desempenho ambiental em construções de alto padrão no local.

Para a análise e interpretação de resultados foi utilizada a comparação dos dados obtidos das simulações computacionais com os as medições *in loco*, a fim de identificar as principais dificuldades e oportunidades na aplicação da NBR 15575, considerando as condições específicas de uso, clima e ocupação.

Pode-se observar que o apartamento 106, do edifício A, apresentou os melhores resultados de iluminância, entre 888 a 943 lux, o que pode ser resultado da extensa área envidraçada, com janelas em duas fachadas por ser uma unidade de canto. Essa configuração, somada à orientação solar predominantemente oeste, maximiza a captação de luz natural, corroborando os achados de Frota e Schiffer (2003) que destacam a influência da orientação e da área de abertura na iluminância. Além disso, a ausência de obstruções por outros edifícios na fachada oeste, favorece a entrada de luz natural, principalmente no período da tarde, quando a incidência solar nessa fachada é mais intensa.

O bom resultado do desempenho térmico observado nas medições *in loco* do edifício B se deve à combinação de uma envoltória bem isolada, estratégias de projeto que favorecem a ventilação natural e o uso de materiais com alta inércia térmica. Esses fatores, em conjunto, contribuem para a criação de um ambiente interno confortável e para a redução do consumo de energia e atingir bom desempenho.

As medições sonoras *in loco* nos edifícios *A* e *B* indicaram que o nível de ruído está dentro dos limites aceitáveis para ambientes residenciais, o que é favorável em áreas urbanas densas, como o Setor Noroeste de Brasília.

As simulações computacionais demonstraram sua importância na análise prévia para auxiliar nas decisões de projeto e construtivas, garantindo a qualidade da edificação, solucionando antecipadamente decisões de projeto e construtivas.

Para a análise de desempenho térmico considerou-se a diferença entre os valores máximos de temperatura do ar no exterior e no interior do ambiente, para o dia típico de verão. O estudo foi realizado na zona bioclimática 4, que possui um clima tropical de savana e a alta incidência solar, sendo necessário adotar estratégias para otimizar o desempenho térmico.

A simulação computacional do edifício *A* mostrou a necessidade de uso de vidro laminado de alta performance nas unidades periféricas e vidro incolor nas unidades voltadas para o átrio. Nas medições no local, as unidades localizadas na fachada sul-oeste, nas extremidades do edifício e com maior área de iluminação apresentaram o melhor desempenho. O apartamento 116, localizado na fachada leste, com geometria mais profunda, mostrou pela simulação, ter desempenho mínimo na cozinha/área de serviço, locais que foram definidos como lavanderia e shaft. Os dados da medição *in loco* mostraram que o uso do terraço descoberto e esquadria com maior transmitância em todo o vão foi satisfatório.

As medições *in loco* do edifício *A* mostraram valores de desempenho lumínico adequados para todos os ambientes, bem acima dos valores da simulação computacional. Isso leva a entender que os materiais construtivos empregados, como o vidro, apresentou uma refletância maior que a simulada, e que as condições de nebulosidade nos dias das medições eram satisfatórias. Destaca-se que Brasília possui boa incidência de luz solar, com boa luminosidade. Os resultados indicam que os edifícios avaliados recebem mais luz natural do que o esperado, o que contribui para o desempenho luminoso e o bem-estar dos moradores.

Recomenda-se em unidades com plantas mais profundas o uso de cores claras nos revestimentos e esquadrias com grandes áreas envidraçadas, mantendo o distanciamento adequado entre as edificações e obstáculos como muros e taludes.

O apartamento 101 do edifício *B*, localizado no canto, com janelas em duas fachadas, apresentou o melhor desempenho luminoso, o que reforça a importância da posição da unidade e da área envidraçada. Apartamentos com cômodos mais profundos, como o 106, tendem a ter menor iluminância nas áreas mais afastadas das janelas. A orientação solar também influencia

a iluminância, sendo observado que as unidades voltadas para o norte, recebem maior insolação ao longo do dia.

A simulação computacional do edifício *B* mostrou que a fachada norte-oeste é a menos favorável para o desempenho térmico no verão, sendo necessário realizar a análise paramétrica com a alteração do tipo de vidro e inclusão de peitoril opaco com uso interno de painel de drywall.

As simulações computacionais do edifício *A* indicaram que todos os apartamentos atendem aos requisitos mínimos de isolamento acústico da NBR 15575. As medições *in loco* confirmaram os resultados das simulações, com níveis de ruído dentro dos limites aceitáveis em todos os ambientes. Pode constatar que a localização dos apartamentos em relação às fontes de ruído (ruas, áreas de lazer, etc.) influencia significativamente no desempenho acústico.

O edifício *A* com fachada em granito e vidro, apresenta desafios e oportunidades em relação ao desempenho acústico. O granito, material denso e pesado, contribui para o isolamento acústico da fachada, enquanto o vidro, material mais leve, pode comprometer o isolamento se não for especificado corretamente. Nesse sentido, as esquadrias e as juntas de vedação influenciaram significativamente para o desempenho acústico.

A fachada do edifício *B*, do tipo unitizada, composta por alumínio e vidros de alta performance, recebeu esquadrias do tipo maxim-ar. Na obra foram empregadas as decisões construtivas apontadas no relatório de simulação acústica. Nele, as unidades com final 9 e 11 possuem a parede da suite adjacente, sendo necessário observar as recomendações no relatório de simulação acústica para atender ao ruído mínimo. Neste caso a fiada precisou ser preenchida completamente com argamassa e a alvenaria teve maior espessura, sendo alterada de bloco cerâmico para bloco de concreto.

- Aspectos arquitetônicos

Pode-se observar que tanto na projeção quadrada (edifício *A*) quanto na projeção retangular (edifício *B*), no verão, o lado mais crítico é o norte-oeste para as condições climáticas avaliadas.

Em ambos os edifícios, a fachada apresenta um avanço de 2 metros em relação ao alinhamento predial. Nesse trecho, o fechamento é composto por janelas nas duas paredes externas, o que garante a transparência visual e a permeabilidade da fachada. Essa exigência, prevista nas normas urbanísticas do setor Noroeste, visa promover a integração entre o espaço público e o privado, além de favorecer a iluminação natural e a ventilação dos ambientes



internos. A transparência da fachada contribui para o desempenho lumínico dos edifícios e permite a entrada de luz natural nos apartamentos, além de influenciar o desempenho térmico, aumentando o ganho de calor em períodos de alta incidência solar.

Os resultados de desempenho dependem de vários fatores, além do tamanho da área envidraçada, do tipo de vidro, da composição dos fechamentos opacos, principalmente da cobertura, e da geometria do ambiente. O atendimento ao nível recomendado, nos casos observados, só é possível com especificação de vidros de controle solar, com fator solar abaixo de 40%. Ainda assim, observa-se casos que, embora se utilize o vidro de melhor performance, o desempenho mínimo só é alcançado com a aplicação das estratégias adicionais de ventilação natural e de sombreamento das aberturas.

O edifício *A*, composto por apartamentos de 30 a 53 m<sup>2</sup> com salas comerciais no térreo e subsolo, possui fachada composta por granito e vidro. O custo do vidro no empreendimento foi equivalente a 1% do orçamento, sendo que as esquadrias metálicas corresponderam a 6,9% e os revestimentos externos a 2,5% do total da obra. No edifício *A*, os apartamentos de meio, por terem menos área de fachada, a entrada de luz é significativamente inferior à dos apartamentos de canto.

No edifício *A*, quadrado com 2 pavimentos, a solução para a iluminação dos apartamentos locados no centro da projeção é a criação de átrios internos com largura mínima necessária para atendimento das unidades adjacentes ao nível mínimo de desempenho lumínico, visando minorar a perda de área útil privativa interna. Os apartamentos voltados para estes átrios não possuem vista externa.

O edifício *B* possui fachada unitizada, que é um sistema construtivo de fechamento de edifícios em que painéis pré-fabricados, compostos por esquadrias de alumínio e vidro, são instalados diretamente na estrutura do edifício. Esses painéis são fabricados em módulos grandes (unitários), já prontos com todas as camadas necessárias para o sistema de vedação (vidro, isolamento, vedações), e depois fixados no edifício, o que garante maior rapidez na montagem e precisão nas instalações.

No edifício *B* as esquadrias metálicas e os vidros corresponderam a 11,13% do custo total do empreendimento. Nele, o item esquadrias metálicas e alumínio é composto por serralheria, alumínio e diversos, equivalentes a 10,14%, 88,02% e 1,83%, respectivamente, onde as esquadrias de alumínio correspondem a 76% do custo do item esquadrias da obra, equivalente a quase 10% do custo total da obra. O serviço de alumínio é composto por

esquadrias e brise, utilizado nas fachadas. O vidro utilizado é do tipo laminado com controle solar de 8 mm de alta performance.

A análise integrada dos resultados demonstra que as decisões arquitetônicas, como orientação solar, implantação, geometria das plantas, escolha de materiais e elementos de sombreamento, influenciam diretamente o desempenho ambiental das edificações. A combinação de diferentes estratégias, como a utilização de vidros com menor transmitância, fachadas unitizadas, brises metálicos móveis e plantas compactas, contribuiu para o melhor desempenho ambiental do edifício *B*.

- Aspectos de desempenho

As projeções avaliadas atendem ao desempenho lumínico em conformidade com a NBR 15575 no setor Noroeste, tendo se mostrado adequadas após a análise com medições no local. Pode-se observar que a maior dificuldade do projeto frente à legislação foram as profundidades dos apartamentos, em virtude dos avanços em espaço aéreo e o sombreamento das caixas de escada, quando existentes. Os edifícios possuem mais de 50% de fachada em vidro e isso garante boa iluminação natural para os cômodos com profundidades médias inferiores a 5 metros.

Para atendimento ao desempenho térmico é imperativo o uso de vidro de controle solar com fator solar baixo. Com isso, a especificação do vidro da fachada se torna mais um desafio. No edifício *A*, a transmissão luminosa ficou abaixo de 40%, enquanto a transmissão luminosa de vidro incolor gira em torno de 88%. Assim, quanto maior a transmissão luminosa em relação ao fator solar, mais caro é o vidro. Uma das soluções seria especificar vidros mais escuros, com fator solar mais baixo nos apartamentos de canto e vidros mais claros nos apartamentos de meio, a depender da orientação solar.

Pode-se observar nas projeções avaliadas que a arquitetura e a volumetria foram pensadas em função do projeto urbanístico do bairro, que associado à legislação e as normas de desempenho trazem limitações quanto ao material usado na fachada, exigindo transparência visual em detrimento das faces opacas nos avanços em espaço aéreo e apartamentos mais profundos.

É possível observar que os apartamentos com maior iluminância são aqueles localizados nas extremidades do edifício, que recebe luz natural de duas fachadas e possui

grande área envidraçada, mostrando que a incidência solar na edificação possui relação direta com o conforto lumínico.

Essa análise sugere que a orientação solar, mesmo não sendo o único fator determinante, influencia o desempenho térmico dos apartamentos. As faces oeste e norte, que recebem maior incidência solar, tendem a apresentar maior ganho de calor, o que pode comprometer o desempenho térmico, especialmente nos períodos mais quentes do ano.

É importante observar que outros fatores, como a área das aberturas, a presença de elementos de proteção solar e a ventilação natural, também podem influenciar o desempenho térmico e devem ser considerados na análise.

O desempenho térmico superior pode ser atribuído a uma combinação de fatores, incluindo as características da envoltória e as estratégias de projeto utilizadas. É importante destacar que, em Brasília, a fachada norte é a que recebe maior incidência solar, especialmente durante o período de inverno, quando o sol se encontra mais baixo no céu. O edifício *B* está implantado em um terreno com a fachada principal voltada para o norte, o que permite que os apartamentos recebam maior incidência solar e esteja sujeita a um maior ganho de calor durante o verão, o que exige estratégias de proteção solar para evitar o superaquecimento nesta face.

O edifício *B* apresenta uma envoltória com paredes externas e cobertura bem isoladas, o que reduz a transferência de calor entre o interior e o exterior da edificação. As paredes externas são compostas por blocos de concreto com 12 cm de espessura e revestimento em granito, enquanto a cobertura possui isolamento térmico em manta asfáltica e câmara de ar. Além disso, também há maior obstrução do céu em virtude do edifício vizinho, principalmente na fachada oeste.

Baseado nas simulações computacionais foram previstas diversas estratégias para otimizar o desempenho térmico, como a ventilação natural, a proteção solar e a escolha de materiais de construção adequados. Foram utilizados brises metálicos móveis na fachada norte que proporcionam sombreamento e reduzem o ganho de calor, especialmente durante o verão. Outro fator importante é a escolha de materiais com alta inércia térmica, como o concreto e o granito, que auxiliam na regulação da temperatura interna dos ambientes.

Pode-se observar que os valores de ruído de impacto entre unidades ( $L_nTw$ ) está bem abaixo do limite de 80 dB, indicando bom isolamento acústico entre os apartamentos. O mesmo ocorre com o ruído aéreo entre unidades ( $D_nTw$ ), cujos valores estão acima do mínimo de 45

dB. As vedações internas também apresentaram desempenho satisfatório, com valores, em DnTw, acima dos mínimos exigidos.

Esse resultado sugere que as recomendações do relatório acústico foram seguidas e implementadas com sucesso na obra, demonstrando atenção aos parâmetros de desempenho acústico, garantindo o conforto dos moradores em relação aos ruídos aéreos e de impacto. A avaliação *in loco* não incluiu análise das fachadas.

Os resultados apontam que os valores medidos *in loco* foram superiores aos previstos na simulação, indicando que foram implementadas as recomendações de isolamento acústico propostas pelos relatórios de desempenho realizados pela empresa especializada. Os resultados ficaram abaixo de 80 decibéis, estabelecido pela NBR 15575.

Este estudo contribui para o aprofundamento do debate sobre a aplicação da NBR 15575 no contexto climático e construtivos utilizados nas edificações avaliadas em Brasília, e destaca a importância da análise integrada dos desempenhos térmico, acústico e lumínico para a criação de edificações mais eficientes, confortáveis e sustentáveis. As análises e conclusões da pesquisa podem auxiliar projetistas, construtores e usuários na busca por soluções que promovam a qualidade ambiental e o bem-estar nos ambientes construídos.

## CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 10151. Acústica- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade- Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT. NBR 10152. Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. NBR 15575-1. Edificações habitacionais- Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR 15575-4. Edificações habitacionais- Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas- SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR 15575-5. Edificações habitacionais- Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. NBR ISO/CIE 8995. Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, A. M. *et al.* Influência da taxa de vedação envidraçada (WWR) no desempenho térmico de edifícios comerciais em São Paulo. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 121-136, out./dez. 2015.

ALMEIDA, A. M.; SILVA, C. A. Desempenho acústico em edificações residenciais: uma análise das exigências da NBR 15575 e dos códigos de edificações. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 23, n. 3, p. 545-562, 2021.

ALVES, A. C. Simulação do impacto das mudanças climáticas no desempenho térmico de edificações em altura na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

AMBIENTE EFICIENTE. Relatório final: análise de desempenho lumínico para atendimento à ABNT NBR 15575 (2013). Responsável técnico: Darja Kos. Brasília: Ambiente eficiente, 2022. 35p.

AMBIENTE EFICIENTE. Relatório final: análise de desempenho lumínico para atendimento à NBR 15575. Responsável técnico: Darja Kos. Brasília: Ambiente eficiente, 2023. 63p.

AMBIENTE EFICIENTE. Relatório inicial: análise de desempenho térmico para atendimento à ABNT NBR 15575. Responsável técnico: Ana Maria A. Nicoletti. Brasília: Ambiente eficiente, 2021. 40p.

AMBIENTE EFICIENTE. Relatório final: análise de desempenho térmico para atendimento à ABNT NBR 15575. Responsável técnico: Ana Maria A. Nicoletti. Brasília: Ambiente eficiente, 2023. 33p.

ARAÚJO, I. A. L. Eficácia de diretrizes construtivas para HIS unifamiliar no Brasil com base no conceito de conforto adaptativo. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

ASHRAE; ANSI/ASHRAE *Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA.2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA (AsBEA). Guia para arquitetos na aplicação da Norma de Desempenho - ABNT NBR 15575. 2015.

ATHIENITIS, A. K. *Building thermal analysis*. 4. ed. Waterloo: Athienitis, 2008.

BESSA, M.; RORIZ, M. conforto ambiental e eficiência energética em edifícios. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2022.

BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle de ruído. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2021.

BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle de ruído. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. Desempenho acústico de edifícios: conceitos e aplicações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2013, Maceió. Anais [...]. Maceió: ANTAC, 2013. p. 1-10.

BRAGER, G. S. Eficiência energética na arquitetura: avaliação de estratégias bioclimáticas em edifícios de escritórios. 2008. 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

BRITO, J. R. F.; FERREIRA, M. A. Inovações tecnológicas na construção civil: materiais e sistemas construtivos para o desempenho ambiental. *Revista Brasileira de Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 123-140, 2021.

BRIZON, L. P. M.; TEATINI, J. C. Tecnologia da construção: desempenho, conforto e sustentabilidade. São Paulo: Editora Blucher, 2021.

CARLO, J. *et al.* Comparação entre métodos de simulação computacional e medições *in loco* para avaliação do desempenho lumínico de edifícios. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 171-188, jan./mar. 2018.

CARVALHO, R. M. Conforto acústico em projetos de arquitetura. São Paulo: Blucher, 2019.

CAVALCANTE, R. C. D. Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-01062010-144907/>. Acesso em: 09 set. 2024.

CERUTTI, Suzete. Plasticidade Neural: Relações com o comportamento e Abordagens Experimentais. Universidade Estadual de Campinas. Psic.: Teor. e Pesq. vol.17 no.2 Brasília May/Aug. 2001

CHILTON, P.; GRABOSKY, P. *Building standards and regulations: a comparison between Australia and Brazil. In: International Conference on Sustainable Building and Urban Development*, 2018. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2018. p. 123-135.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

DE OLIVEIRA NEVES, Letícia; RUSCHEL, Regina Coeli. Um panorama sobre a temática do conforto ambiental. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 7, n. 4, p. 198-201, 2016.

STROBINO, Fernanda De Paula. O CONFORTO AMBIENTAL E A EXPERIÊNCIA SENSORIAL EM MUSEUS. *Enaproc*, v. 1, n. 1, 2015.

DONATO, N. D.; BRAGA, D. K. Análise do desempenho térmico (NBR 15.575) de três empreendimentos residenciais em Rondonópolis-MT. *Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Brasília, v. 22, p. 5-22, 2018.

DURANTE, Luciane Cleonice; GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves; LIRA, Vítor Ferronato de; MOREIRA, José Vinnícius Ranieri. CONFORTO TÉRMICO E CONSUMO DE ENERGIA EM HABITAÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.774. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/774>. Acesso em: 19 nov. 2024.

DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

FERREIRA, A. C.; SANTOS, M. A. Iluminação natural e artificial em ambientes residenciais: influência na saúde e no bem-estar dos moradores. *Revista Brasileira de Conforto Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 85-98, 2022.

FERREIRA, C. C.; CARLO, J. C.. Aplicação de experimento fatorial como método para a definição de zonas bioclimáticas a partir do conforto térmico. *PARC Pesq. em Arquit. e Constr.*, Campinas, SP, v. 14, p. e023005, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v14i00.8669076>.

FERREIRA, M. A.; SANTOS, A. C. Legislação urbanística e desempenho ambiental em edifícios residenciais: um estudo de caso em São Paulo. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 14, n. 2, p. 205-222, 2022.

FIGUEIREDO, C. R. e CAVALCANTI, M. C. Validação do desempenho lumínico de um edifício habitacional em Brasília através de simulação computacional e de medições. *Brazilian Journal of Development*, 8(8), 58907–58926. 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-263>.

FIGUEIREDO, C. R. e BORGES, G. F. X. Avaliação do desempenho térmico em quiosques de containers metálicos em Brasília. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, e14211628846, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.28846.

FORMOSO, C. T.; LANTELME, E. M. V.; TZORTZOPOULOS, P. Inovação, gestão da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção. In: Coletânea Habitare. Porto Alegre: ANTAC, v. 2. 2002.

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

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

GLEHN, P. V. e KOS, D. Reflexão sobre o impacto dos códigos edíficos no desempenho térmico e lumínico de edifícios residenciais do bairro Noroeste, Brasília-DF. Revista Paranoá. n. 30, Edição Temática: Olhares de Reabilitação Sustentável 3. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n30.2021.02

GIOVANI, B. *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold. 1998.

GIVONI, B. *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. in: *Energy in Buildings*, vol. 18, july/92, pp. 11-23. 1992

HUMPHREYS, M. A. *The variation of comfortable temperatures*. Int. J. Energy Res., 3: 13-18. doi:10.1002/er.4440030103. 1979.

KATZSCHNER, L.; THORSSON, S. *Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 7., Yokohama, Japan, 2009. Proceedings... Yokohama, Japan, 2009.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. S. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89-101, jan./jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89989>.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino*. São Paulo: Oficina de Textos. 2011.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. *Anais do VII Encontro de Tecnologia do Ambiente Construído e Qualidade no Processo Construtivo*, p. 27-30, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C. O Projeto Arquitetônico e o Conforto Ambiental: Necessidade de uma Metodologia. In: ENTAC 1993 – V Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações. São Paulo. SP. 1993.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. *et al.* Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 2, p. 7-19, 2006.

KREUTZER, O. C. *conforto ambiental: iluminação, ventilação e qualidade do ar interior*. São Paulo: Unicamp, 2016.



KRÜGER, E. L. Conforto ambiental em espaços públicos abertos: estudo de caso na Praça XV de Novembro em Florianópolis-SC. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

LAMBERTS, R., *et al.* "Eficiência energética na arquitetura." São Paulo: PW Editora. 1997

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na Arquitetura. 3ª edição. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. São Paulo: PW Editores, 2014.

LAMBERTS, Roberto; LAMBERTS, Karin. Sustentabilidade e arquitetura: uma visão abrangente. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015.

LEHMANN, Carlos. O projeto como ferramenta de controle da qualidade na produção de edifícios. 2001. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LEVISKY, A.; AGUIAR, S. Arquitetura bioclimática: guia para projetos sustentáveis. São Paulo: Editora Gustavo Gili, 2020.

LUCA, C. R. Desempenho acústico em sistemas *drywall*. 2ª Edição, Associação Brasileira de Drywall, 2013.

MACHADO, F. A influência da NBR 15575 no projeto de escolas: estudo de caso em Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

MACHADO, F. R. Conforto ambiental e desempenho energético em edifícios: uma abordagem integrada. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MASCARÓ, J. L. Energia na edificação: estratégia para a sustentabilidade na arquitetura. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

MOMESSO, A. *et al.* Desempenho acústico de sistemas de pisos em edifícios residenciais: estudo de caso em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2013, Maceió. Anais [...]. Maceió: ANTAC, 2013. p. 1-10.

MOURÃO, A. L. *et al.* Gestão da qualidade de projetos no contexto da NBR 15575. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE PROJETOS, 3., 2016. Anais [...]. Rio de Janeiro: Abepro, 2016. p. 1-12.

MÜLLER, C. Simulação computacional para análise do desempenho ambiental de edificações. Porto Alegre: Bookman, 2014.

NETO, M. de F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. Porto Alegre, 2010.

NICOLAI, Paola Oliveira de; SOUZA, Flávia Rodrigues de. Classificação de critérios de desempenho da NBR 15.575 visando a verificação de projetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7, 2021, Londrina. Anais... Londrina: PPU/Uel/UEM, 2021. p.1-10. DOI <https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438147>.

OLIVEIRA, Ana Luiza Alves de. Avaliação das condições de desempenho acústico, lumínico e térmico em edificações de porte monumental: um estudo de caso da Biblioteca Central e do Restaurante Universitário da Universidade de Brasília. 2016.

OLIVEIRA, L. A.; SOUSA, D. E.; ESTEVES, L. M.; CURISALLE, PATRÍCIA; SILVA, R.; SANTOS, R. A. Desempenho acústico de paredes de alvenarias de blocos de concreto utilizadas entre unidades adjacentes, XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC 2022 Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável. 2022.

OLIVEIRA, L. *et al.* conforto lumínico em ambientes de trabalho: estudo de caso em um edifício comercial em São Paulo/SP. *Lighting Research & Technology*, v. 53, n. 3, p. 355-372, 2021.

PAULA, L.P.; AKUTSU, M.; PIRES, H.L. Avaliação pós-ocupação para acústica de salas de aula – estudo de caso em escolas técnicas do Estado de São Paulo. *Revista IPT*, 2020, v. 4, n.15.

PALLASMAA, J; SALVATERRA, A. Os olhos da pele: A arquitetura e os sentidos. Bookman, 2011.

PEREIRA, Cláudia Donald. Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

PROJETEEEE. Gráfico de temperatura e zona de conforto. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/grafico/grafico-de-temperatura-e-zona-de-conforto/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

REIS, J. Desempenho lumínico em edifícios residenciais: estudo de caso em Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2021

RHEINGANTZ, P. A. Uma pequena digressão sobre conforto ambiental e qualidade de vida nos centros urbanos. In: *Cidade & Ambiente - UFSM*. Vol. 1 n. 22. p. 35-58. Santa Maria. 2001.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. Adaptação bioclimática ao projeto de edifícios. São Paulo: Gustavo Gili, 2011.

RODRIGUES, M. *et al.* Desempenho de edificações: uma abordagem da gestão da qualidade no processo de projeto. *Revista Brasileira de Gestão e Engenharia*, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 418-433, set. 2021. ISSN 2317-8039. Disponível em: <https://revistabge.com.br/ojs/index.php/rbge/article/view/264>. Acesso em: 19 nov. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.30988/rbge.2021.78714>.

ROMANO, A. C. O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia. São Paulo: Unicamp, 2003.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2020.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenho urbano. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SABBATINI, F. H. A produção do espaço construído: racionalização e flexibilidade na indústria da construção. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS, C. D. Avaliação de desempenho de soluções construtivas inovadoras para o conforto ambiental em edifícios de Brasília. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022.

SANTOS, C. D.; FERREIRA, M. A. Avaliação do desempenho lumínico em edifícios residenciais: estudo de caso em Belo Horizonte. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 123-140, out./dez. 2022.

SANTOS, L. F.; SILVA, M. A. Análise da influência da vegetação no desempenho acústico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 175-192, 2020.

SCHMALFUSS, Ludimila Mallmann; RUIVO, Roseana Bonotto; PASSUELLO, Ana; CORREA, Celina Maria Britto; CUNHA, Eduardo Grala da. Desempenho energético de um edifício de escritórios a partir de diferentes soluções de fachadas envidraçadas. In: *EURO ELECS*, 4., 2021. Anais [...]. Pelotas: Editora UFPEL, 2021. p. 901-911.

SEGAWA, Hugo. Clave de Sol: notas sobre a história do conforto ambiental. *Ambiente Construído*, v. 3, n. 2, p. 37-46, 2003.

SILVA, A. B., *et al.* Ventilação natural cruzada em edifícios residenciais de Brasília: Impactos no conforto térmico durante períodos de seca. *Revista Brasileira de Conforto Ambiental*, 15(2), 45-58, 2023.

SILVA, Camila Vilela Lara e PAULA, Maria Inês Lage de. A aplicação de materiais translúcidos e transparentes nas fachadas das edificações e sua relação com o conforto térmico. In: *ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. p. 1–6. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3949. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3949>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SILVA, J. C. *et al.* Desempenho térmico de edificações residenciais: estudo de caso em Florianópolis/SC. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 145-162, abr./jun. 2022.

SÍNTESE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA. Caderno de especificações técnicas de desempenho acústico segundo NBR 15575. Responsável técnico: Fabiana Curado. Brasília: Síntese Arquitetura, 2021. 25p.

SÍNTESE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA. Caderno de especificações técnicas de desempenho acústico segundo NBR 15575. Responsável técnico: Fabiana Curado. Brasília: Síntese Arquitetura, 2022. 29p.

SORGATO, M. J. *et al.* Desempenho acústico de fachadas: estudo de caso em edifícios multifamiliares em Curitiba. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 135-151, jul./set. 2014.

SOUZA, A. P. *et al.* Desempenho acústico em escolas: estudo de caso em uma escola pública em Brasília/DF. *Acústica & Vibrações*, São Paulo, n. 65, p. 42-58, 2020.

SOUZA, J. C. Avaliação do conforto ambiental em escolas públicas de ensino fundamental: estudo de caso em escolas do município de Florianópolis. 2019. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SOUZA, J. C. *et al.* Avaliação do conforto ambiental em escolas públicas de ensino fundamental: estudo de caso em escolas do município de Florianópolis. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 223-240, out./dez. 2018.

SOUZA, L. G.; MEDEIROS, A. C. de; BRAGANÇA, L. Conforto acústico em edificações residenciais: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, v. 57, p. 341-357, 2021.

TCHECHOV, A. L. C.; CORRÊA, F. S. C. Gestão de projetos na construção civil: o sucesso de empreendimentos habitacionais. São Paulo: Pini, 2017.

VON GLEHN, P. e KOS, D. Reflexão sobre o impacto dos códigos edilícios no desempenho térmico e lumínico de edifícios residenciais do bairro Noroeste, Brasília-DF. Paranoá, [S. l.], v. 14, n. 30, 2021. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n30.2021.02. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/34893>. Acesso em: 30 nov. 2024.

WANG, X. *et al.* *Evaluating daylighting performance and glare in residential buildings with different shading strategies.* *Energy and Buildings*, v. 225, p. 110318, 2020.

WILSON, E. O. *Biophilia.* Cambridge: Harvard University Press, 1984.

YANG, Z.; LI, W. *Performance optimization of prefabricated modular facade systems for energy efficiency and indoor comfort in buildings.* *Energy and Buildings*, v. 273, p. 112458, 2023.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos.* 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZOU, G.; SONG, Y. *Field measurement and simulation analysis of daylighting performance in residential buildings.* *Building and Environment*, v. 213, p. 108844, 2022.