

# **A VULNERABILIDADE DOS APARTAMENTOS COMPACTOS**

Estudo de desempenho termoenergético dos studios  
em São Paulo frente às mudanças climáticas

Thais Sayuri Hashimoto Kanada

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação  
Serviço Técnico de Biblioteca  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Kanada, Thais

A vulnerabilidade dos apartamentos compactos: estudo de desempenho termoenergético dos studios em São Paulo frente às mudanças climáticas / Thais Kanada; orientadora Denise Duarte. coorientador Alberto Neto - São Paulo, 2022.

50 p.

Trabalho Final de Graduação (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

1. Conforto Térmico. 2. Mudanças Climáticas. 3. Desempenho Energético. 4. Edifícios Residenciais. I. Duarte, Denise, orient. II. Neto, Alberto, coorient. III. Título.

Trabalho Final de Graduação apresentado ao curso de  
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

# **A VULNERABILIDADE DOS APARTAMENTOS COMPACTOS**

Estudo de desempenho termoenergético dos studios em  
São Paulo frente às mudanças climáticas

Thais Sayuri Hashimoto Kanada

Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Denise Helena Silva Duarte

Coorientador Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto

São Paulo

2022

## RESUMO

Após a aprovação do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo em 2014, houve um aumento bastante significativo de lançamentos de apartamentos compactos na cidade e, dessa forma, a tipologia do *studio* se tornou comum em edifícios residenciais, normalmente tendo apenas uma face com abertura para o ambiente externo, a qual muitas vezes é (ou existe a possibilidade de vir a ser) envidraçada, formato que gera um aumento da temperatura interna e limita a ventilação do ambiente. Além disso, com o aumento da temperatura global, somado aos fenômenos locais de aquecimento urbano, torna-se fundamental a problematização e o estudo do desempenho térmico desses pequenos apartamentos em cenários climáticos futuros. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é caracterizar o estoque construído de apartamentos com 50m<sup>2</sup> ou menos na cidade de São Paulo e selecionar uma unidade considerada representativa para estudo de desempenho térmico e energético com base em dados climáticos atuais e projeções futuras alinhadas às mudanças climáticas. Desta maneira, buscou-se obter um perfil de desempenho térmico de apartamentos *studios* em São Paulo com base em dados quantitativos, possibilitando uma análise crítica da resiliência dessas residências diante das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** conforto térmico; desempenho energético; mudanças climáticas; edifícios residenciais.

## **ABSTRACT**

After the approval of the São Paulo Strategic Master Plan in 2014, there was a very significant increase in the number of compact apartment releases in the city and, therefore, the studio typology became common in residential buildings, usually having only one wall with an opening to the outdoor environment, which is often (or there is the possibility of becoming) glazed, a design that generates an increase in the indoor temperatures and limits the ventilation capability. In addition, with the increase in global temperature, added to the local phenomena of urban heating, it becomes fundamental to problematize and study the thermal performance of these small apartments in future climate scenarios. Therefore, the objective of this study is to characterize the built stock of apartments with 50m<sup>2</sup> or less in the city of São Paulo and to select a unit considered representative for the study of thermal and energy performance based on current climate data and future projections aligned with climate change. That way, the goal was to obtain a thermal performance profile of studio apartments in São Paulo based on quantitative data, enabling a critical analysis of the resilience of these residences in the face of climate change.

**Key-words:** thermal comfort; energy performance; climate changes; residential buildings.

# AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e família, que me deram apoio e amor necessários para persistir nos meus sonhos. Agradeço especialmente à Stela, minha irmã e melhor amiga, por ter a capacidade de transformar os dias mais difíceis em risadas.

Às colegas que conheci na FAU, Mika, Rachel e Vivian, companheiras de trabalhos e bandejões, que caminharam ao meu lado no percurso da graduação; e aos colegas Bia e Raphael, que aqui conheci e que seguiram carreiras diferentes, mas que nem por isso deixaram de fazer parte dessa jornada.

À minha família de coração, Du, Gabriela, Lena, Matheus, Shira, Takeshi, Taylor, Will e outros mais; pelo carinho, por escutarem minhas aflições e por celebrarem comigo minhas conquistas. Seguimos caminhos diferentes e, mesmo assim, a amizade nos manteve unidos por mais de uma década (e muitas outras ainda virão).

À minha orientadora, prof.<sup>a</sup> Denise, primeiro por me acolher na iniciação científica e despertar meu interesse sobre os temas de conforto ambiental e mudanças do clima; e, segundo, por me dar a oportunidade de dar continuidade à pesquisa para o TFG. Sou grata por ter alguém tão dedicada ao ensino e à pesquisa como orientadora, pois o aprendizado que obtive nas nossas conversas é imensurável.

A todos os membros do grupo de pesquisa PIPAE, do qual fiz parte durante a iniciação científica e que me proporcionou conhecer algumas das pessoas mais admiráveis e que continuaram me apoiando para o desenvolvimento deste trabalho:

Ao prof. Alberto, que veio a ser meu coorientador neste trabalho, por me auxiliar e orientar no aprendizado do *EnergyPlus*; pessoa cuja dedicação me inspira como profissional e como pessoa. Ao Marcelo, que veio a ser convidado da minha banca examinadora, por compartilhar de suas experiências e conhecimento. À Ana e à Shai que vieram a ser minhas amigas e companheiras de simulação, com quem compartilhei os momentos de angústias e vitórias no desenvolvimento deste trabalho. Já sinto falta das nossas reuniões semanais cheias de aprendizado e conversa jogada fora.



# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS E MÉTODO</b> .....	2
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
3.1. Conforto térmico .....	3
3.2. Mudanças climáticas e seu impacto no espaço urbano .....	5
3.3. Produção imobiliária de studios na cidade de São Paulo e a crise climática .....	8
<b>4. CATALOGAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO</b> .....	13
4.1. Metodologia .....	13
4.2. Resultados .....	14
<b>5. ESTUDO DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO</b> .....	17
5.1. Objeto de estudo .....	17
5.2. Metodologia para análise de desempenho termoenergético .....	19
5.3. Cenário de projeto .....	21
5.3.1. Premissas de simulação .....	21
5.3.2. Análise de resultados .....	24
5.4. Cenário hipotético de envidraçamento .....	27
5.4.1. Premissas de simulação .....	27
5.4.2. Análise de resultados .....	31

5.5. Cenário estratégico para redução do consumo energético .....	37
5.5.1. Premissas de simulação .....	37
5.5.2. Análise de resultados .....	39
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>42</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A humanidade encontra-se entre uma pandemia parcialmente controlada e uma corrida para minimizar os efeitos climáticos extremos nos anos futuros. A pandemia de COVID-19 deixa profundas marcas para a população mundial, entre elas o isolamento social, medida que pode vir a ser necessária nas décadas subsequentes se as causas das mudanças climáticas não forem mitigadas, visto que ondas de calor levariam os seres de quase todo o mundo a evitar ambientes externos (UN GLOBAL COMPACT, 2020). Diante desse contexto, é essencial estudar e problematizar a qualidade das moradias produzidas atualmente, sobretudo em áreas urbanas, onde se prevê um grande aumento populacional: estima-se que até 2050 dois terços da população mundial venham a residir em áreas urbanas, onde os riscos de eventos extremos de calor irão afetar metade dessa população, sobretudo no hemisfério sul tropical e em cidades costeiras (IPCC, 2021).

Na cidade de São Paulo, houve uma mudança no perfil de produção de edifícios residenciais após a aprovação do Plano Diretor Estratégico de 2014, com destaque às unidades de 1 dormitório, que chegaram a representar 32% dos lançamentos residenciais no ano de 2014 (SECOVI, 2021). Portanto, a proliferação do mode-

lo de apartamento *studio* na cidade é evidente, atendendo um público formado principalmente por casais sem filhos, jovens emancipados, pessoas divorciadas e idosos (ROLNIK, 2017).

Todavia, essa produção de apartamentos *studio*, caracterizados pela área útil diminuta que limita as possibilidades de layout interno dessas unidades, coloca em discussão o desempenho térmico e energético desse modelo de moradia. Isso se dá uma vez que existe um emergente risco de desconforto em ambientes internos devido às mudanças climáticas, que afetam negativamente os índices de conforto térmico e/ou aumentam as horas de desconforto por calor excessivo em cenários climáticos futuros (IPCC, 2021).

A compreensão e o estudo da produção imobiliária atual é, portanto, essencial para que se possa avaliar e elaborar estratégias que orientem e contribuam para o estabelecimento de boas práticas arquitetônicas e urbanísticas que visem a produção de edifícios mais resilientes às mudanças climáticas e que possam promover conforto e qualidade de vida aos seus usuários em cenários climáticos futuros.

## 2. OBJETIVOS E MÉTODO

O objetivo deste trabalho é problematizar e dimensionar a resiliência de apartamentos compactos perante às mudanças climáticas do ponto de vista de desempenho e conforto térmico, além de estimar a demanda energética por climatização artificial dessas unidades residenciais compactas exigida em decorrência do aumento das temperaturas globais.

Sendo assim, o trabalho inicia com uma revisão bibliográfica, a fim de contextualizar e estabelecer conceitos pertinentes ao estudo proposto, construindo uma base de conhecimento geral que, ainda que breve, sirva de apoio para as análises de estudo de caso apresentadas posteriormente.

A seguir, foi realizado o levantamento de lançamentos de edifícios residenciais multifamiliares com a tipologia *studio* na cidade de São Paulo, construídos após o Plano Diretor Estratégico de 2014. A catalogação e sistematização desses dados coletados foi feita a fim de traçar um perfil da produção recente de *studios*, permitindo caracterizá-los principalmente com relação ao seu desenho arquitetônico.

A partir da sistematização do estoque construído de *studios*, uma unidade considerada “típica” foi selecionada para estudo de desempenho térmico e energético

pelo modelo *EnergyPlus*. As análises por simulação computacional foram realizadas com dados climáticos atuais (2020) e projeções futuras para os anos de 2030, 2050 e 2080, alinhadas às mudanças climáticas.

Os cenários simulados foram:

- Cenário de projeto;
- Cenários hipotéticos que contemplam a possibilidade de integração do ambiente da sala com a varanda, considerando o fechamento completo com cortina de vidro e diferentes opções de operação de aberturas;
- Cenário estratégico com a adoção de métodos que visam a redução de consumo energético por resfriamento ativo, com a adoção de sombreamento como estratégia de resfriamento passivo e a mudança comportamental do usuário na operação do equipamento de ar-condicionado.

Dessa forma, com os resultados obtidos, foi possível realizar uma análise quantitativa e comparativa referente aos diferentes cenários, assim como evolução do comportamento térmico e demanda energética da unidade ao longo dos próximos anos.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Conforto térmico

O conforto ambiental é entendido como um conjunto de condições que devem proporcionar ao ser humano bem estar sensorial nos quesitos térmico, visual, acústico e antropométrico (LAMBERTS, 2014). Sendo assim, os edifícios devem promover experiências multisensoriais de iluminação, som, qualidade do ar e sensação térmica, condições que afetam a percepção do ambiente; portanto, qualquer fator que bloqueie ou perturbe tais sistemas sensoriais de forma insatisfatória pode vir a afetar a saúde e a produtividade do indivíduo no desempenho de determinadas atividades (ONG, 2013).

Por definição, o conforto térmico é a “condição de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e é determinada por avaliação subjetiva” (ANSI/ASHRAE, 2020, p. 3). Em outras palavras, o conforto térmico é o termo utilizado para descrever um ambiente termicamente satisfatório sob percepções socialmente definidas por normas e expectativas (NICOL e ROAF, 2017).

Em espaços internos, a sensação de conforto térmico apresenta uma série de variações de acordo com os diferentes climas, estações do ano e cultura local,

podendo haver conforto em ambientes internos mesmo em temperaturas extremas, de até 35°C ou mais (NICOL e ROAF, 2017). Isso acontece porque, em edificações com inércia térmica bem dimensionada, a temperatura interna não acompanha imediatamente as temperaturas externas, apresentando amortecimento térmico e retardo térmico que amenizam as variações de temperatura e oferecem sensações térmicas mais amenas, mesmo quando o clima externo é extremo (ROAF, 2008).

Todavia, é importante que não se confunda conforto com a ausência de sensação: espaços mantidos a temperaturas absolutamente constantes criam ambientes homogêneos que limitam as experiências psicológicas e emocionais humanas, pois as mudanças de padrões são estímulos necessários para ativá-las (ONG, 2013).

*“The norm has become that rooms maintained at a constant temperature without any vertically or outlook or sunshine or breeze or discernible source of heat or center or, alas, meaning. These homogene-*

*ous environments require little of us, and they give little in return besides the shelter of a cubical cocoon” (BLOOMER, MOORE, 1977, p. 105)*

Além da temperatura do ar, as demais variáveis que influenciam o conforto térmico e que podem ser medidas diretamente são: a temperatura radiante média, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar, a atividade física metabólica e o tipo de vestimenta utilizada (LAMBERTS, 2014). Outro fator mais subjetivo que afeta na percepção psicológica do conforto térmico é a oportunidade adaptativa, ou seja, a percepção de liberdade para alterar as condições do ambiente visando o conforto térmico, como alterar o tipo de vestimenta ou diminuir a atividade metabólica realizada, por exemplo (ONG, 2013):

*“Work by Guedes shows that in a large sample of office workers in Portugal, occupants felt more satisfied with the thermal conditions where there were openable windows, even when the opportunity for opening them was not taken. This strongly suggests*

*that there is a psychological as well as physical aspect to adaptive behavior” (ONG, 2013, p. 49)*

O próprio corpo humano possui diversas maneiras de manter a temperatura interna constante por meio de mecanismos termorreguladores, como a alteração do fornecimento de sangue para a pele (aumento ou diminuição das perdas de calor por convecção de acordo com a dilatação dos vasos sanguíneos) e a produção de suor (LAMBERTS, 2014). Entretanto, em casos de temperaturas do ambiente acima da temperatura da pele (32 - 35°C), o resfriamento por convecção não é possível, pois o ar ambiente passa a aquecer a pele, em vez de resfriá-la (ROAF, 2008). Nesses casos, o corpo humano perde calor apenas pela evaporação do suor, o que, em casos de calor extremo, pode não ser suficiente para manter a temperatura corporal em condições ideais para o funcionamento biológico, excedendo a capacidade do corpo humano em manter a termorregulação e provocando estresse térmico, que apresenta impactos sobre a saúde humana e ocasiona sintomas que variam de dores de cabeça, exaustão física mental e até a morte, especialmente em grupos vulneráveis (OLIVEIRA et.

al., 2020).

A compreensão sobre o conforto térmico é, portanto, de suma importância para que sejam projetados edifícios termicamente habitáveis e que proporcionem saúde e bem-estar aos seus ocupantes.

*“(...) It is not the buildings themselves that are important but the fact that they facilitate or enable us to live and do various things within them” (ONG, 2013, p.2)*

---

### **3.2. Mudanças climáticas e seu impacto no espaço urbano**

A nossa sociedade está enfrentando três grandes crises: “1) a crise na saúde; 2) a crise de perda de biodiversidade; e 3) a crise climática” (ARTAXO, 2020, p. 53). Podemos dizer que as crises do nosso tempo estão intrinsecamente ligadas, pois as mudanças climáticas, causadas pelas ações humanas, implicam no desequilíbrio do sistema de vida no planeta, levando à perda de biodiversidade e extinção de espécies em praticamente todos os ecossistemas terrestres, aquáticos e marinhos (ARTAXO, 2020).

A perda de biodiversidade leva à perda de ecossistemas e suas contribuições aos humanos, impactando na agricultura e pesca, assim como aumentando a frequência e a intensidade de enchentes e erosão do solo (COSTS, 2021). Além disso, “o clima tropical e as altera-

ções ecossistêmicas favorecem o desenvolvimento de patógenos” (ARTAXO, 2020, p. 59) e a pandemia de COVID-19 nos mostrou o quão preocupante e ameaçador pode ser o surgimento de novas doenças. Ademais, não só o surgimento de novos patógenos é alarmante, mas também outras questões de saúde estão vinculadas à crise climática: “no Brasil, em setembro e outubro de 2020 o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) emitiu alertas para o perigo de morte por hipertermia em várias regiões do país (...)” (DUARTE, 2020, p. 1).

O aumento da temperatura representa uma questão de especial preocupação nas grandes cidades, onde os fenômenos de aquecimento urbano afetam um enorme número de pessoas. A publicação das “Normas Climatológicas do Brasil 1991-2020” pelo INMET destacou

o aumento das temperaturas durante as madrugadas na cidade de São Paulo , tendo que essa “(...) elevação é maior que 1,6°C em todos os meses do ano, com destaque para os meses de julho e abril, apresentando uma elevação da temperatura mínima de 2,7°C” (INMET e MAPA, 2022, p. 12).

*“Heat risk is associated with a range of health issues for urban residents, with the consequences of higher urban temperatures being unevenly distributed across urban populations (high confidence). Clear evidence exists of increased health risks to elderly populations in settlements, especially higher levels of mortality in elderly populations from urban heat island during heat wave event”* (IPCC, 2021, p. 23)

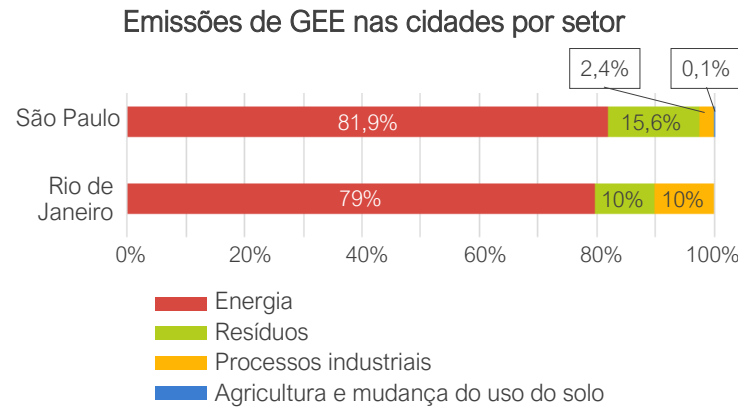
No verão, casos de temperaturas extremamente elevadas geram um impacto mais severo sobre a mortalidade do que mortes relacionadas a doenças tradicionais (ROAF, 2008). Picos curtos de mortalidade são associados à ondas de calor e, dependendo da severidade desses episódios, podem ser considerados desastres

naturais se os serviços públicos forem sobrecarregados, como o caso da onda de calor que atingiu a França em 2003, onde os serviços funerários e hospitais foram incapazes de atender o excesso de demanda. (ROAF, 2008)

É importante destacar que as previsões feitas são que 60% da população mundial venha a viver em cidades em 2030, sendo que uma a cada três pessoas deve morar em cidades com pelo menos meio milhão de habitantes (DUARTE, 2020). Atualmente, as cidades já consomem 70% da energia primária mundial com a consequente emissão de gases de efeito estufa, o que contribui para o agravamento do aquecimento global, demanda que tende a crescer devido ao aumento populacional nos grandes centros urbanos, somado ainda às demandas de consumo energético por condicionamento do ar devido à elevação das temperaturas (PBMC, 2016).

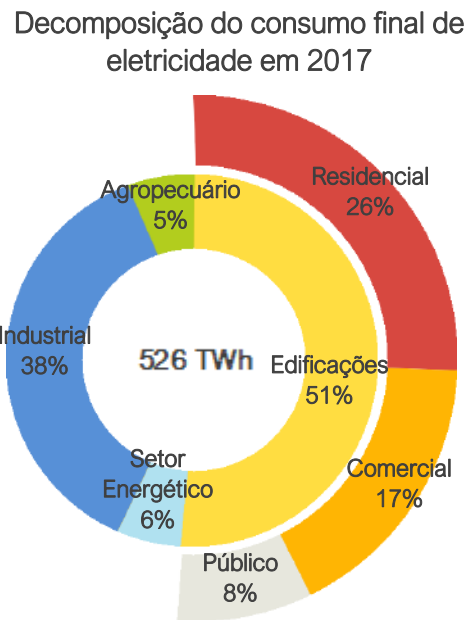
Nas grandes cidades brasileiras, como São Paulo e Rio de Janeiro, o setor energético (transporte e edificações) é responsável pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa (PBMC, 2016). Em 2017, as edificações foram responsáveis pelo consumo final de 51% de eletricidade no Brasil, sendo mais da metade dessa porcentagem voltada ao setor residencial (EPE, 2018).

**Figura 1: Emissões de GEE nas cidades por setor.** Gráfico de porcentagens de emissões de gases de efeito estufa por setor nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro com base em dados de 2013 e 2014.  
 Fonte: PBMC, 2016, p. 76.



Os edifícios e construções somam 39% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> (ALVES; GONÇALVES; DUARTE, 2021), aspecto diretamente associado às causas do aquecimento global provocado pelos seres humanos. Portanto, é de grande importância entender o perfil dos edifícios residenciais produzidos nos últimos anos para poder identificar problemas e buscar soluções quanto às questões de desempenho energético do ambiente construído e das mudanças climáticas.

**Figura 2: Decomposição do consumo final de eletricidade em 2017.** Gráfico de decomposição do consumo final de eletricidade no Brasil no ano de 2017.  
 Fonte: EPE, 2018, p. 8



“Estamos todos em risco perante os impactos das mudanças climáticas. Nossa vulnerabilidade a elas dependerá da nossa infra-estrutura, das edificações onde vivermos e dos investimentos que fizermos. Nossa exposição a esses riscos dependerá de onde essa infra-estrutura estará em relação às ameaças das mudanças climáticas perpetradas contra nós. Para planejar de forma criteriosa a minimização dos riscos, precisamos saber mais sobre a escala das ameaças do clima que podem nos afetar (...)” (ROAF, 2008, p. 98)

### 3.3. Produção imobiliária de *studios* na cidade de São Paulo e a crise climática

Uma primeira característica notável na produção recente de edifícios residenciais em São Paulo é a quantidade de lançamentos imobiliários que possuem fachadas envidraçadas, uma tendência do mercado imobiliário que começou nos edifícios com unidades de grandes áreas e custos elevados por metro quadrado, e posteriormente passou a ser empregada em apartamentos menores voltados à classe média (VIANA e DUARTE, 2021). Muitas dessas unidades são vendidas com a possibilidade de integração da sala de estar com a varanda envidraçada e, muitas vezes, até incentivada por ser entregue ao morador com os pisos nivelados. Essa prática faz com que a varanda deixe de ser um espaço de transição e passe a integrar um ambiente de permanência prolongada, potencializando o aquecimento desse ambiente interno (ALVES; GONÇALVES; DUARTE, 2021). O fechamento envidraçado provoca um aquecimento solar passivo, pois o vidro dificulta a saída de radiação de onda longa, causando um efeito estufa e aumentando a temperatura interna (VIANA e DUARTE, 2021). Dessa forma, como resposta ao potencial desconforto térmico causado por esse aumento de temperatura, muitos des-

ses novos empreendimentos também oferecem infraestrutura pronta para a instalação de sistemas de condicionamento artificial:

“No mundo, o uso de energia para climatização em edifícios cresce mais rápido que qualquer outro uso final, mais que triplicando entre 1990 e 2016. (...) No Brasil, apenas no setor residencial, estima-se que a posse de ar condicionado pelas famílias tenha mais que duplicado entre 2005 e 2017” (EPE, 2018, p. 6).

Uma segunda característica marcante da produção imobiliária de São Paulo nos últimos anos é o crescimento na quantidade de lançamentos com tipologias de pequena área útil. Após o Plano Diretor Estratégico, houve uma progressiva diminuição da área útil das unidades, sendo que, em 2014, 28% dos imóveis residenciais vendidos tinham menos de 45m<sup>2</sup>, valor que subiu para 72% em 2020 (SECOVI, 2021). Por um lado, esse modelo de apartamento está relacionado à forma de morar das no-

vas composições familiares; por outro, esses edifícios contam com uma série de equipamentos de uso exclusivo e coletivo dos moradores (cozinhas, lavanderias, áreas de *coworking*, etc.) como compensação pelas limitações impostas pela unidade de área reduzida, os quais implicam em altos custos de condomínio. Esses fatores, somados ao custo elevado por metro quadrado em regiões do centro de São Paulo, sugerem que esse tipo de lançamento está bastante relacionado à possibilidade de propiciar aumentos significativos nas margens de lucros das incorporadoras por meio da drástica redução das áreas úteis das unidades vendidas (ROLNIK, 2017). A arquitetura das moradias produzidas acabam por tomar formas que priorizam as tendências do mercado imobiliário em vez das necessidades e qualidade de vida do morador.

*“Offices, apartments, and stores are piled together in ways which owe more to filling-cabinet systems or the price of land than to a concern for human existence or experience”* (BLOOMER, MOORE, 1977, p. 4)

Dessa forma, o formato *studio* vem se tornando cada vez mais comum, composto por apenas um ambiente que unifica as funções de sala, cozinha e quarto (separado apenas do banheiro), e, assim como outros empreendimentos da cidade, tendo fachadas envidraçadas. Entretanto, as problemáticas do fechamento de vidro apresentadas anteriormente são ainda mais preocupantes nessa tipologia, isso porque apartamentos maiores normalmente possuem outras fachadas com aberturas para o exterior e maior flexibilidade para ventilação natural, o que não ocorre nessas pequenas unidades com apenas uma face que se volta ao ambiente externo (VIANA e DUARTE, 2021). Portanto, a produção de edifícios da forma que está sendo feita, com fachadas envidraçadas que selam o ambiente interno das condições externas, vai contra todos os princípios de um projeto mais sustentável (EMMANUEL, 2005), um fenômeno ainda mais contraditório diante de um contexto no qual as questões de demanda energética, consumo energético consciente e arquitetura bioclimática são tão relevantes e discutidas (ONG, 2013).

Os sistemas de climatização artificial se tornaram a “solução” para desenhos arquitetônicos de menor qualidade que não se preocupam em utilizar estratégias de

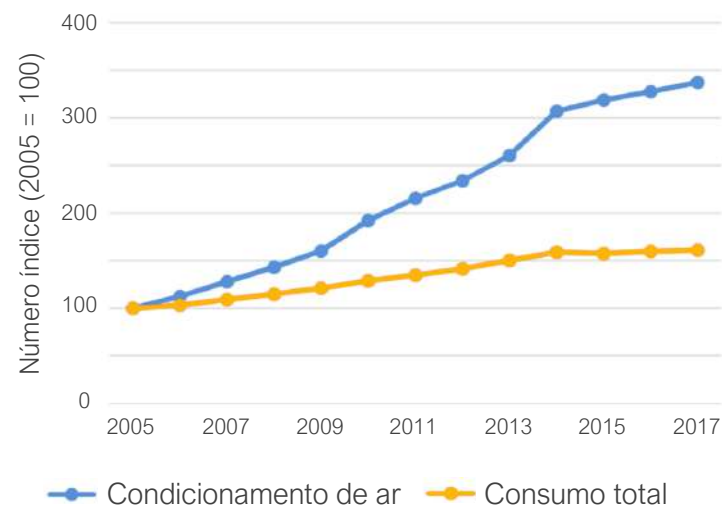
ventilação natural ou resfriamento passivo. E o resultado disso é claro: cada vez mais o consumo energético residencial aumenta. A EPE estima que a demanda por energia devido à utilização de ar-condicionado em residências aumente 5,4% ao ano até 2035 (EPE, 2018), um cenário preocupante tanto do ponto de vista de demandas energéticas, quanto de mudanças climáticas.

*“In the age of climate emergency and the rising cost of living, it is madness to create new dependencies on HVAC systems that represent significant energy demands and GHG emissions” (RYSANEK, 2022).*

O condicionamento de ar se torna, então, um problema uma vez que o consumo energético elevado contribui para as mudanças climáticas, cujos próprios sintomas ele tenta tratar, criando um “ciclo vicioso” (ROAF, 2008).

A fachada envidraçada também levanta outras discussões relevantes, como a questão da ventilação natural. Como consequência da pandemia da COVID-19, a ventilação se tornou mais ainda um tópico de extrema importância, ressaltando como a renovação de ar interna

**Crescimento do consumo de eletricidade total e para condicionamento de ar no setor residencial**



**Figura 3: Crescimento do consumo de eletricidade total e para condicionamento de ar no setor residencial.** Gráfico da evolução do consumo de eletricidade no setor residencial no Brasil entre 2005 e 2017.

Fonte: EPE, 2018, p. 10.

é essencial para evitar a disseminação de doenças respiratórias. O “Residencial COVID-19 Guidance” publicado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE* diz que “home is the safest place, until it’s not” (ASHRAE, 2021) e destaca a importância de se aumentar a taxa de ventilação e a movimentação do ar interno para evitar a disseminação do vírus. Entretanto, muitas vezes, o *studio* possui apenas o envidraçamento como acesso direto ao ambiente externo, o qual normalmente apresenta limitações na opera-

ção da abertura, prejudicando as trocas de ar e, consequentemente, comprometendo a segurança da habitação do ponto de vista da disseminação de patógenos pelo ar.

Além da questão da saúde, a pandemia levantou outras problemáticas desse tipo de apartamento, uma vez que o confinamento provocou um enorme aumento de tempo de permanência dentro da moradia e trouxe novas demandas para esse espaço. Costa e Melo (2021) realizaram uma pesquisa sobre as adaptações no ambiente doméstico nos tempos de pandemia e, em uma das entrevistas realizadas, uma jornalista relata que:

“A minha casa sempre foi um local exclusivamente pra (sic) dormir e, de repente a minha casa, que é um apartamento de 60m<sup>2</sup>, virou o meu ambiente de trabalho, virou também a escola do meu filho, virou o nosso ambiente de lazer, o nosso cinema, os restaurantes... Então, tudo passou a ser feito e vivido dentro desse espaço” (MELO e COSTA, 2021, p. 1828).

Possivelmente, a pandemia apenas antecipou a experiência de confinamento, visto que, cada vez mais as “(...) ondas de calor levariam as pessoas a evitar ambientes externos (...)” (UN GLOBAL COMPACT, 2020). Essa previsão faz com que a questão do desempenho térmico dos edifícios venha a ser de grande relevância, tendo em vista a importância de que as demandas de conforto térmico sejam atendidas nas residências perante às novas atividades e rotinas com maior tempo de permanência em ambientes internos (no cenário pós-pandemia e possivelmente com o aumento da ocorrência de fenômenos climáticos extremos) e diante do aumento de temperatura devido às mudanças climáticas.

A previsão para as próximas décadas é de que o desconforto por frio em ambientes residenciais diminua, mas que o desconforto por calor aumente muito com as mudanças climáticas e, novamente, a questão da ventilação é evidenciada como um fator de extrema relevância na produção arquitetônica de moradias que ofereçam qualidade de vida – além da possibilidade de utilização de outras estratégias que não demandem consumo energético excessivo. Por isso, é de grande importância que seja realizada uma análise sobre a dinâmica imobiliária de uma grande cidade como São Paulo, para que se

compreenda melhor o perfil dos lançamentos imobiliários, sobretudo aqueles que apresentam unidades mais problemáticas do ponto de vista termoenergético, e para que possam ser desenvolvidas estratégias arquitetônicas mais adequadas para a mitigação das causas e efeitos das mudanças climáticas.

*“Good design therefore provides building occupants with a choice of thermal comfort strategies, and therefore a diversity of options for reducing electricity use and saving money” (COOK et. al., 2020).*

## 4. Catalogação e sistematização

### 4.1. Metodologia

<sup>1</sup> A catalogação e sistematização foi realizada para a iniciação científica “Apartamentos *studio* na cidade de São Paulo: Caracterização para estudos de desempenho térmico” (finalizada em setembro de 2022), que faz parte do projeto PIPAE/USP (Projetos Integrados de Pesquisa em Áreas Estratégicas, da Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade de São Paulo), que envolve as instituições FAUUSP, POLIUSP e IAGUSP no projeto de pesquisa “PlanClima SP 2021: estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas em edifícios e espaços livres”. O processo contou com o apoio de outros membros do grupo de pesquisa no levantamento e sistematização de lançamentos imobiliários de até 3 dormitórios; neste trabalho, entretanto, optou-se por apresentar apenas os resultados referentes aos apartamentos *studio*.

Visto que houve um aumento significativo de lançamentos imobiliários no ano de 2014, estimulado pelas novas diretrizes estabelecidas pelo Plano Diretor Estratégico de São Paulo, considerou-se interessante definir o recorte cronológico de lançamentos de empreendimentos residenciais de 2014 a 2021 para a catalogação e sistematização<sup>1</sup>.

Sendo assim, foram estabelecidas três regiões para serem analisadas: República, Santa Cecília e a área do entorno da Av. Rebouças. Essas regiões se mostraram pertinentes ao estudo, tanto do ponto de vista da escala urbana, que trata do microclima urbano e da distribuição de vegetação na cidade, quanto do ponto de vista da escala do edifício, uma vez que são regiões densamente construídas da cidade e que vivem o fenômeno de “volta ao centro” da última década.

Para o levantamento de dados, foram utilizadas as seguintes fontes:

- GeoEmbreaesp<sup>2</sup>: dados de lançamentos residenciais em São Paulo em 2014;
- GeoSecovi<sup>3</sup>: dados de lançamentos residenciais em São Paulo de 2014 a 2021;

- Apto.vc<sup>4</sup>: site de venda de imóveis utilizado para obtenção de imagens das fachadas dos edifícios e plantas das unidades;
- Demais fontes: contatos com diversas incorporadoras e construtoras com lançamentos de edifícios residenciais recentes.

A partir dessas fontes, foram coletados dados de unidades residenciais do tipo *studio* com até 50m<sup>2</sup> em edifícios de múltiplos andares. As informações coletadas de cada unidade foram:

- 1) nome do edifício/empreendimento;
- 2) área útil;
- 3) região (República, Santa Cecília ou área em torno da Av. Rebouças);
- 4) endereço;
- 5) ano de lançamento (se disponível);
- 6) planta da unidade;
- 7) imagem da fachada;
- 8) planta do pavimento tipo (se disponível);
- 9) área e perímetro livre com potencial de envidraçamento da varanda (se houver);

- 10) infraestrutura para ar-condicionado;
- 11) fonte das informações.

Tomou-se o cuidado de excluir informações repetidas, como o mesmo empreendimento apresentado em fontes diferentes e, no caso de diferentes plantas com o mesmo número de dormitórios e áreas semelhantes no mesmo edifício, foi selecionado apenas um exemplar de planta para a catalogação.

Todos os dados coletados foram organizados em uma planilha e, posteriormente, compilados em fichas junto com os materiais iconográficos levantados, sinteti-

zados num único arquivo *.pdf*, que resume as informações coletadas. Além disso, tendo a informação do endereço de cada unidade, foi feito um arquivo *.kmz* por meio do *Google Earth Pro* para cada região estudada, possibilitando que esses dados possam ser utilizados em estudos futuros.

O arquivo da catalogação *.pdf*, a planilha de dados *.xlsx* e os arquivos de mapeamento dos edifícios levantados *.kmz* por região ficarão permanentemente disponíveis para consulta pública no link:

[https://drive.google.com/drive/folders/1T0\\_N5gUgX73Ufba4DCvKwZGNs62ENWNx?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1T0_N5gUgX73Ufba4DCvKwZGNs62ENWNx?usp=sharing)

<sup>2</sup> EMBRAESP (Empresa Brasileira de Estudos de Patrimônio). Geo-Embrasp, c2018. Mapa interativo. Disponível em: <https://geoembrasp.com.br/index.aspx>. Acesso em: 09 abr. 2022

<sup>3</sup> SECOVI (Sindicato de Empresas de Comércio e Serviços Imobiliários). GeoSecovi SP: inteligência urbana, c2017. Mapa interativo de acesso pago. Disponível em: <http://www.geosecovi.com.br/index.php>. Acesso em: 09 abr. 2022.

<sup>4</sup> APTO. Apto: Você apto para o novo, c2015. Página inicial. Disponível em: <https://apto.vc/>. Acesso em: 09 abr. 2022.

---

## 4.2. Resultados

A catalogação resultou na coleta de dados de 77 apartamentos *studio* com até 50m<sup>2</sup>. Foram levantadas 16 unidades na região de Santa Cecília, 34 na República e 27 na Av. Rebouças. O mapa a seguir mostram a espacialização dessas unidades em cada região estudada (figura 4); entretanto, é importante ressaltar que alguns pontos se encontram sobrepostos nos casos em que mais de um tipo de unidade catalogada encontra-se

no mesmo edifício—no caso de plantas muito distintas e/ou áreas muito diferentes.

Os 77 *studios* catalogados possuem uma média de área útil de aproximadamente 28,5m<sup>2</sup>, sendo que quase 50% do total possui áreas entre 20m<sup>2</sup> e 30m<sup>2</sup> (figura 5). A maior área catalogada foi de 49m<sup>2</sup> e a menor foi de apenas 10m<sup>2</sup> (apenas uma unidade encontrada extrapolava os 50m<sup>2</sup> e não foi considerada).

### Catálogo de *studios*

Legenda:

- Santa Cecília
- República
- Av. Rebouças
- Viário
- Limites distritos
- Unidades catalogadas

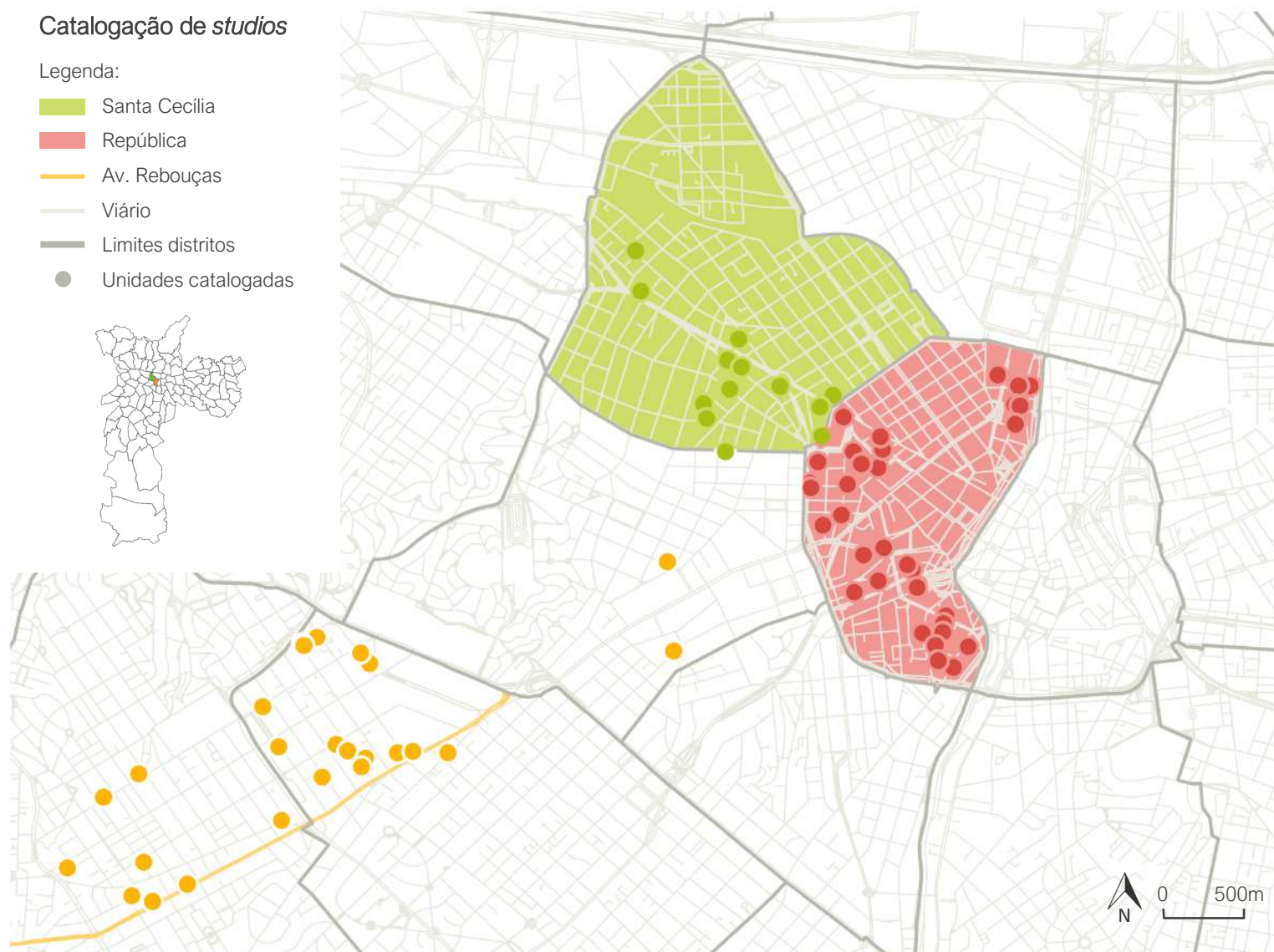


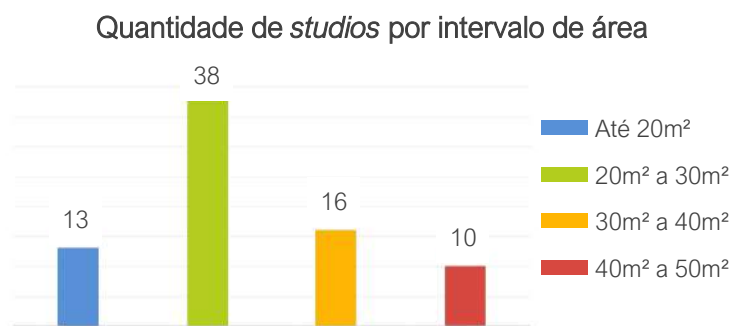
Figura 4: *Catálogo de studios*.  
Mapa da localização das unidades *studio* catalogadas.  
Fonte: autora

Dessa amostragem, 66 possuem varanda e, destes, 22 apresentam a menção da integração da sala com a varanda como uma possibilidade em seus anúncios publicitários (normalmente ressaltando o piso entregue nivelado entre os dois ambientes) ou com a integração já ilustrada nas plantas humanizadas. Além disso, 56 dos anúncios publicitários também mencionam a infraestrutura pronta para ar-condicionado como uma vantagem ou possuem o equipamento ilustrado nas plantas, comumente com espaço reservado para a condensadora na varanda.

Vale destacar que as informações trazidas nos gráficos a seguir (figuras 6 e 7) foram coletadas utilizando como critério a citação da integração da sala com a varanda ou a infraestrutura pronta para ar-condicionado pelas peças publicitárias de venda dos imóveis ou pela sua representação gráfica nas plantas e/ou imagens renderizadas. Isso significa que pode haver mais unidades que apresentam essas características, mas que não foram mencionadas pela construtora ou incorporadora como uma vantagem publicitária.

Foi calculada também a proporção da área da varanda em relação à área útil total da unidade, resultando em uma média de aproximadamente 15% para as unida-

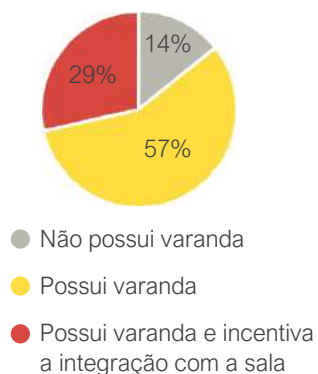
des que possuem varanda. Tendo um ambiente de área pequena destinada às funções de sala, quarto e cozinha, a integração da sala com a varanda representa uma ampliação considerável da área interna do apartamento, o que pode ser visto como vantajoso para o morador.



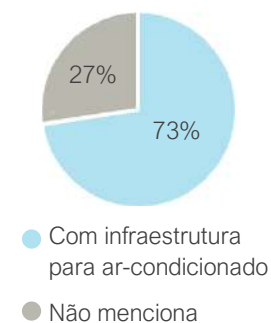
**Figura 5: Quantidade de *studios* por intervalo de área.** Gráfico da distribuição dos *studios* catalogados por intervalo de área útil.

Fonte: autora

**Presença de varanda**



**Infraestrutura para ar-condicionado**



**Figura 6: Presença de varanda.**

Gráfico da proporção de unidades *studios* catalogadas que possuem varanda.

Fonte: autora

**Figura 7: Infraestrutura para ar-condicionado.** Gráfico da proporção de unidades *studios* catalogadas que mencionam infraestrutura pronta para ar-condicionado.

Fonte: autora

## 5. ESTUDO DE DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO

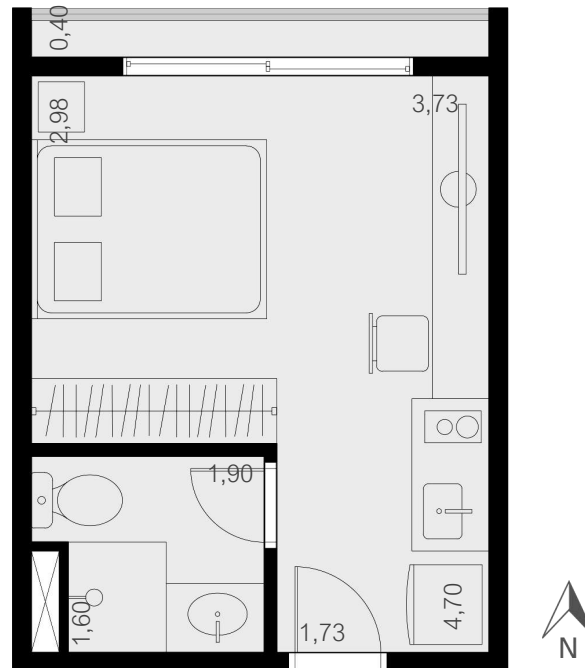
### 5.1. Objeto de estudo

A partir da catalogação e sistematização, foram levantadas e analisadas as plantas de diversos *studios*, nas quais foram observadas semelhanças muito grandes de layout, sendo a maioria com varandas e aberturas para o meio externo somente em uma das faces da unidade. Apenas algumas exceções apresentam formatos

muito diferentes para os ambientes ou abertura em mais de uma parede. A figura 9 mostra, esquematicamente, o layout das unidades levantadas.

Dessa forma, foi selecionada uma unidade *studio* considerada representativa desta tipologia (figura 8), tendo 19m<sup>2</sup> e pertencente a um edifício residencial, atualmente em construção, localizado na R. Rego Freitas, n. 62, República, São Paulo-SP. As dimensões do apartamento foram estimadas com base nas imagens publicitárias divulgadas pela construtora (plantas humanizadas, planta esquemática do pavimento tipo, imagens renderizadas de fachada e interiores).

A unidade é composta por um ambiente único que desempenha as funções de sala, dormitório e cozinha, além de um banheiro (sem janela) e uma varanda pequena, com função de terraço técnico, onde se prevê o posicionamento da condensadora do aparelho de ar condicionado, para o qual já é entregue infraestrutura pronta para instalação na compra o imóvel. A única abertura para o meio externo é o acesso à varanda, por meio de uma porta de vidro de duas folhas de correr, posicionada na fachada norte do edifício.



**Figura 8: Objeto de estudo.** Planta humanizada do apartamento *studio* selecionado para análise. Sem escala.  
Fonte: autora (adaptada)

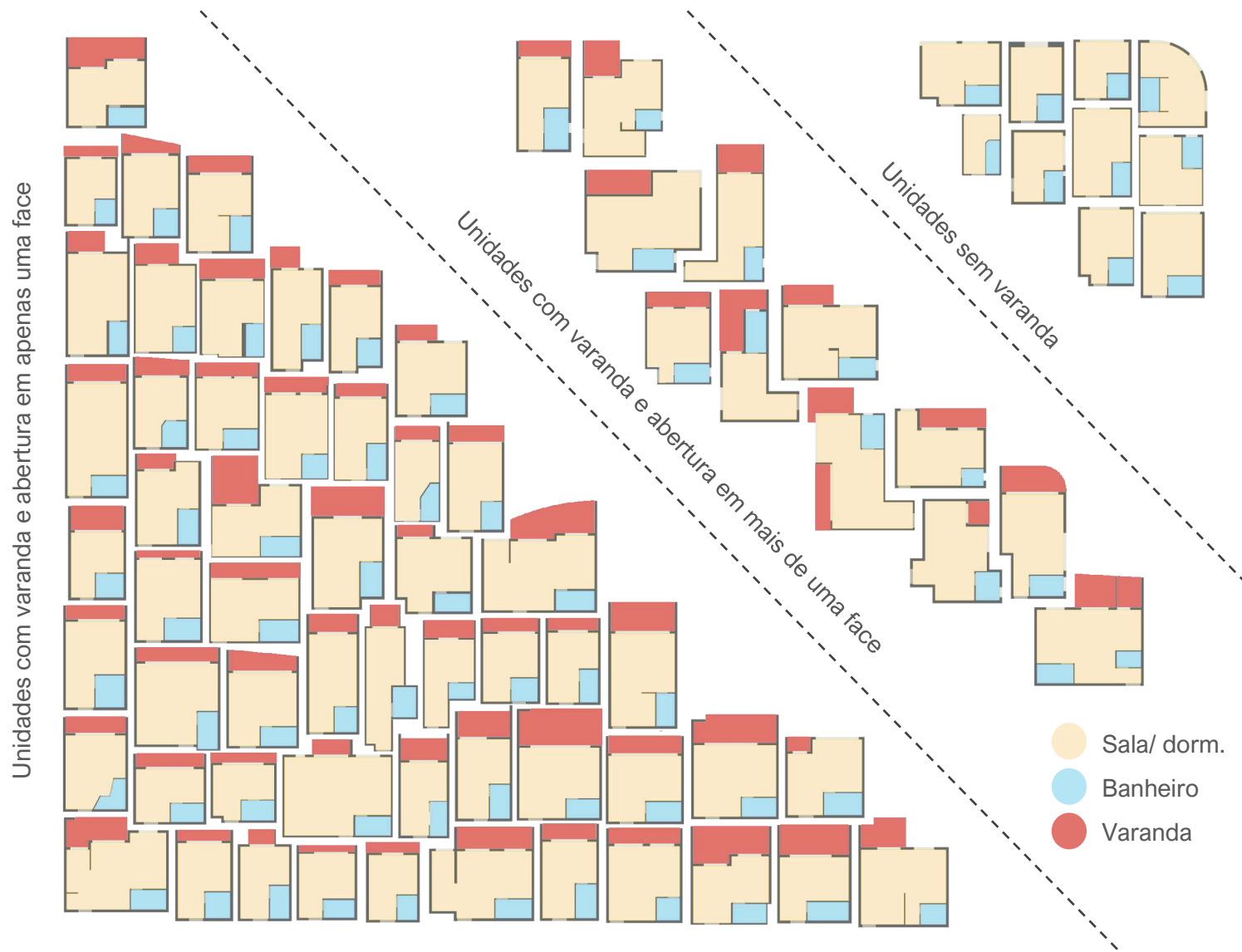


Figura 9: Unidades catalogadas e classificadas por tipo de layout. Diagrama esquemático das plantas das unidades catalogadas e classificadas em grupos por características de layout. Fonte: autora

## 5.2. Metodologia para análise de desempenho termoenergético

<sup>5</sup> PREFEITURA DE SÃO PAULO. Geosampa. Mapa interativo. Disponível em: [http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx). Acesso em: 09 abr. 2022.

<sup>6</sup> ABNT-NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

<sup>7</sup> ABNT-NBR 15575 - Edificações habitacionais Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais.

<sup>8</sup> Os dados climáticos futuros para 2030, 2050 e 2080 foram elaborados e gentilmente fornecidos para realização desta pesquisa, pela empresa *WeatherShift*. As projeções feitas são referentes ao cenário RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway*), que representa a manutenção das emissões atuais (*business as usual*).

A simulação termodinâmica foi realizada com o modelo *EnergyPlus* (v.9.0.1) e a modelagem das unidades foi feita no *SketchUp* com auxílio da ferramenta de extensão *OpenStudio*. Inicialmente, a unidade de estudo foi modelada e simulada para três pavimentos distintos, sendo um inferior (equivalente ao 1º andar acima do térreo), um intermediário (equivalente ao 9º andar) e um superior (equivalente ao 18º andar), entretanto, devido à semelhança de resultados entre as unidades dos pavimentos intermediário e superior, optou-se por omitir neste trabalho a análise do pavimento intermediário.

Os ambientes internos das unidades foram modelados como *space objects* e as varandas, como *shading surfaces*. A volumetria do entorno imediato também foi modelada como elementos de sombreamento e as alturas das edificações foram obtidas através da base de dados do *Geosampa*<sup>5</sup>.

Não foram modelados os guarda-corpos, pois considerou-se que eles influenciariam muito pouco no resultado final. Também não foram modelados os demais espaços não analisados do edifício, portanto as superfícies em contato com outros ambientes (tetos, pisos, paredes

entre unidades e paredes entre unidade e circulação) foram configuradas como adiabáticas e sem incidência solar direta.

As demais premissas de simulação, perfis de ocupação, cargas térmicas, operação das aberturas e dados dos materiais de envoltória foram estabelecidos com base nas normas NBR 15220 (2005)<sup>6</sup> e NBR 15575 (2021)<sup>7</sup>. Para os elementos construtivos, foram determinadas composições de materiais considerados mais comuns para paredes externas (alvenaria em bloco de concreto), paredes internas (drywall) e lajes entre pisos (concreto armado).

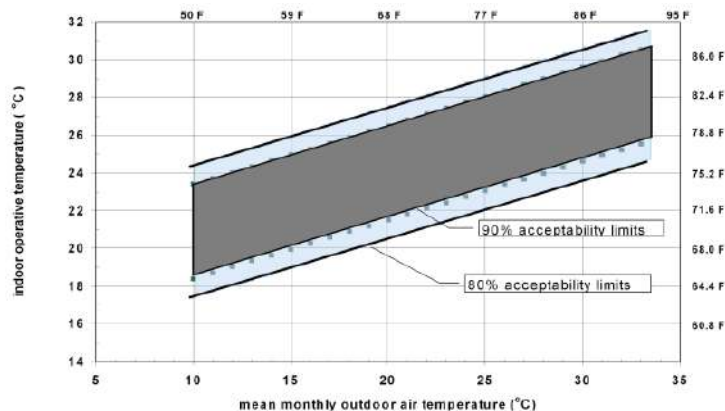
As simulações foram realizadas para quatro cenários climáticos, com o objetivo de obter resultados quantitativos que permitissem uma análise comparativa da evolução do desempenho termoenergético da unidade estudada ao longo dos próximos anos dentro do contexto de mudanças climáticas. Sendo assim, foram utilizados dados climáticos atuais (2020) e projeções climáticas futuras no cenário RCP 8.5 para os anos 2030, 2050 e 2080<sup>8</sup>.

Os dados obtidos a partir da simulação referem-se

à zona do ambiente principal (sala/dorm.) analisado no intervalo de 1 hora no período de um ano (365 dias). Em uma primeira etapa, os outputs extraídos foram: temperatura operativa (TO) e temperatura externa média mensal (Tm). A partir desses dados, foram calculadas as porcentagens de horas ocupadas em conforto, desconforto por frio ou desconforto por calor de acordo com o Modelo Adaptativo da ASHRAE 55 (2020)<sup>9</sup> para 80% de aceitabilidade de conforto térmico, de acordo com a fórmula:

Hora em conforto se  $(0,31 * Tm) - 14,3 < TO < (0,31 * Tm) + 21,3$   
 Hora em desconforto por frio se  $TO < (0,31 * Tm) - 14,3$   
 Hora em desconforto por calor se  $TO > (0,31 * Tm) + 21,3$

**Faixas de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados**



Essa primeira etapa de simulações obteve resultados quantitativos acerca da performance térmica da unidade e, em um segundo momento, as simulações foram retomadas para uma análise de consumo energético por ar-condicionado. Dessa forma, foram utilizadas as mesmas premissas de simulação da primeira etapa, mas desconsiderando a ventilação natural e considerado um aparelho de ar-condicionado de COP 3,23 e termostato com *setpoint* de 23°C—por recomendação da ASHRAE 55 (2020).

É importante destacar também que o parâmetro de potência do equipamento de resfriamento foi configurado como *autosize*, ou seja, foi calculada a energia necessária para resfriar o ambiente quando a temperatura interna ultrapassa 23°C, buscando manter este nível de temperatura sem considerar o limite de capacidade do aparelho de ar-condicionado. O objetivo aqui foi de simplificar a simulação, extraindo o *output* de *cooling coil cooling total rate* (taxa de resfriamento da bobina de resfriamento), valores que não representam o consumo energético bruto do equipamento de ar-condicionado em si, mas que refletem diretamente o comportamento do consumo energético por demanda de resfriamento.

<sup>9</sup> ANSI/ASHRAE, 2021. *Standard 55, 2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

**Figura 10: Faixas de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados.** Gráfico “Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces”, referência para determinação da aceitabilidade da temperatura operativa para conforto térmico.

Fonte: ASHRAE (2021)

## 5.3. Cenário de projeto

### 5.3.1 Premissas de simulação

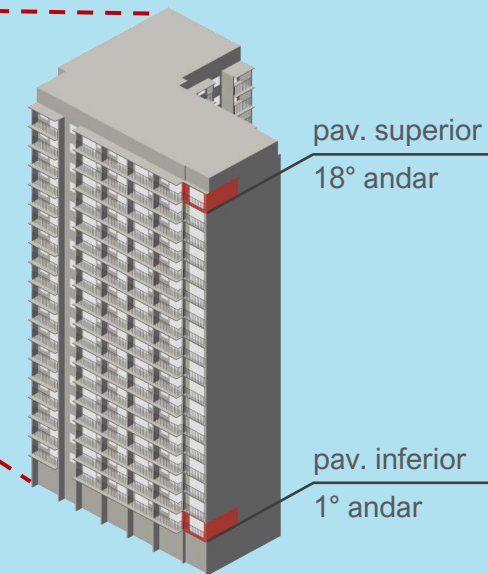
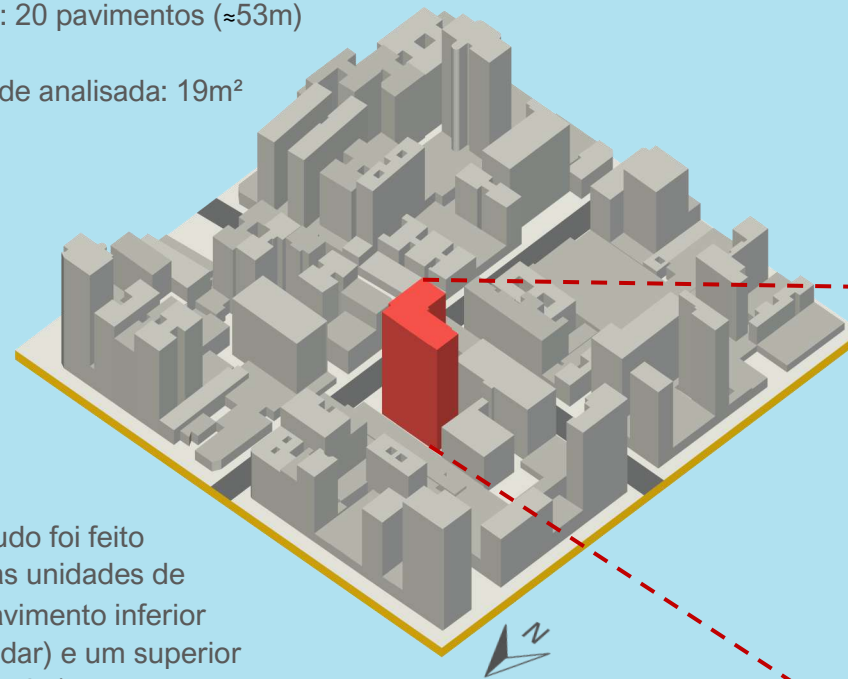
#### ENVOLTÓRIA

Localização: R. Rego Freitas, nº 62,  
República, São Paulo—SP

Altura: 20 pavimentos (≈53m)

Unidade analisada: 19m<sup>2</sup>

EDIFÍCIO SELECIONADO  
PARA ESTUDO







O estudo foi feito para as unidades de um pavimento inferior (1º andar) e um superior (18º andar)

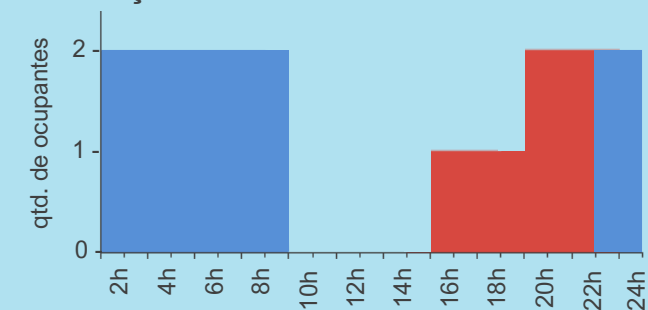
A modelagem levou em consideração a volumetria do entorno imediato para efeito de sombreamento.

Figura 11: Premissas de simulação. Conjunto de diagramas, tabelas e gráficos de detalhamento das condições de envoltória e premissas de simulação. Fonte: autora. Dados de materiais de envoltória, premissas para ventilação natural, schedules e cargas internas de ocupação, iluminação e equipamentos, de acordo com as normas NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2021).

## ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

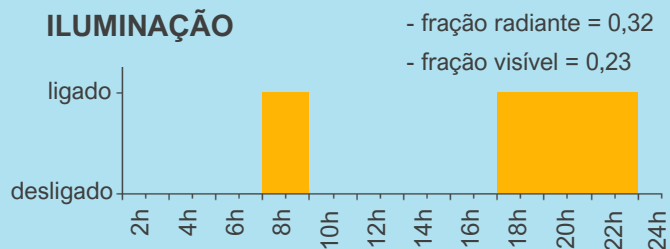
elemento	material	espessura (mm)	condutividade térmica (W/m.K)	densidade (kg/m <sup>3</sup> )	calor específico (J/kg.K)	absortância solar	emissividade de onda longa	
1 	gesso	12,5	0,35	750	840	0,4	0,9	
	ar	50	resistência térmica da camada de ar = 0,17 m <sup>2</sup> .K/W					
	gesso	12,5	0,35	750	840	0,4	0,9	
2 	argamassa	25	1,15	2000	1000	0,5	0,9	
	concreto	25	1,15	2400	1000	0,5	0,9	
	ar	140	resistência térmica da camada de ar = 0,17 m <sup>2</sup> .K/W					
	concreto	25	1,15	2400	1000	0,5	0,9	
	argamassa	25	1,15	2000	1000	0,5	0,9	
3 	cerâmica	10	1,05	2000	920	0,7	0,9	
	argamassa	40	1,15	2000	1000	0,5	0,9	
	concreto	100	1,75	2400	1000	0,5	0,9	
4 	alumínio	50	56	2700	920	0,58	0,9	
	laminado incolor	3+3	transmitância térmica = 5,7 Wm <sup>2</sup> .K					FS=0,87

## OCUPAÇÃO

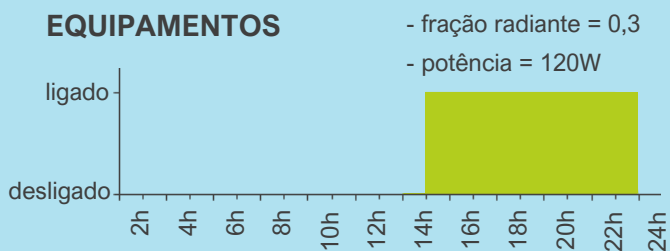


- Descansando / dormindo
  - taxa metabólica = 81W
  - fração radiante = 0,3
- Sentado / assistindo TV
  - taxa metabólica = 108W
  - fração radiante = 0,3

## ILUMINAÇÃO



## EQUIPAMENTOS



## VENTILAÇÃO NATURAL

\*condição de abertura da porta envidraçada: TBS interna da APP ≥ 19°C

Parâmetros	aberturas de vidro	portas madeira
Coefficiente de fluxo de ar quando a abertura está fechada (kg/(s.m))	0,0024	0,00063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coefficiente de descarga (Cd) de abertura (adimensional)	0,60	0,60

## CENÁRIO DE PROJETO

MODELO 3D SIMPLIFICADO  
PARA SIMULAÇÃO:

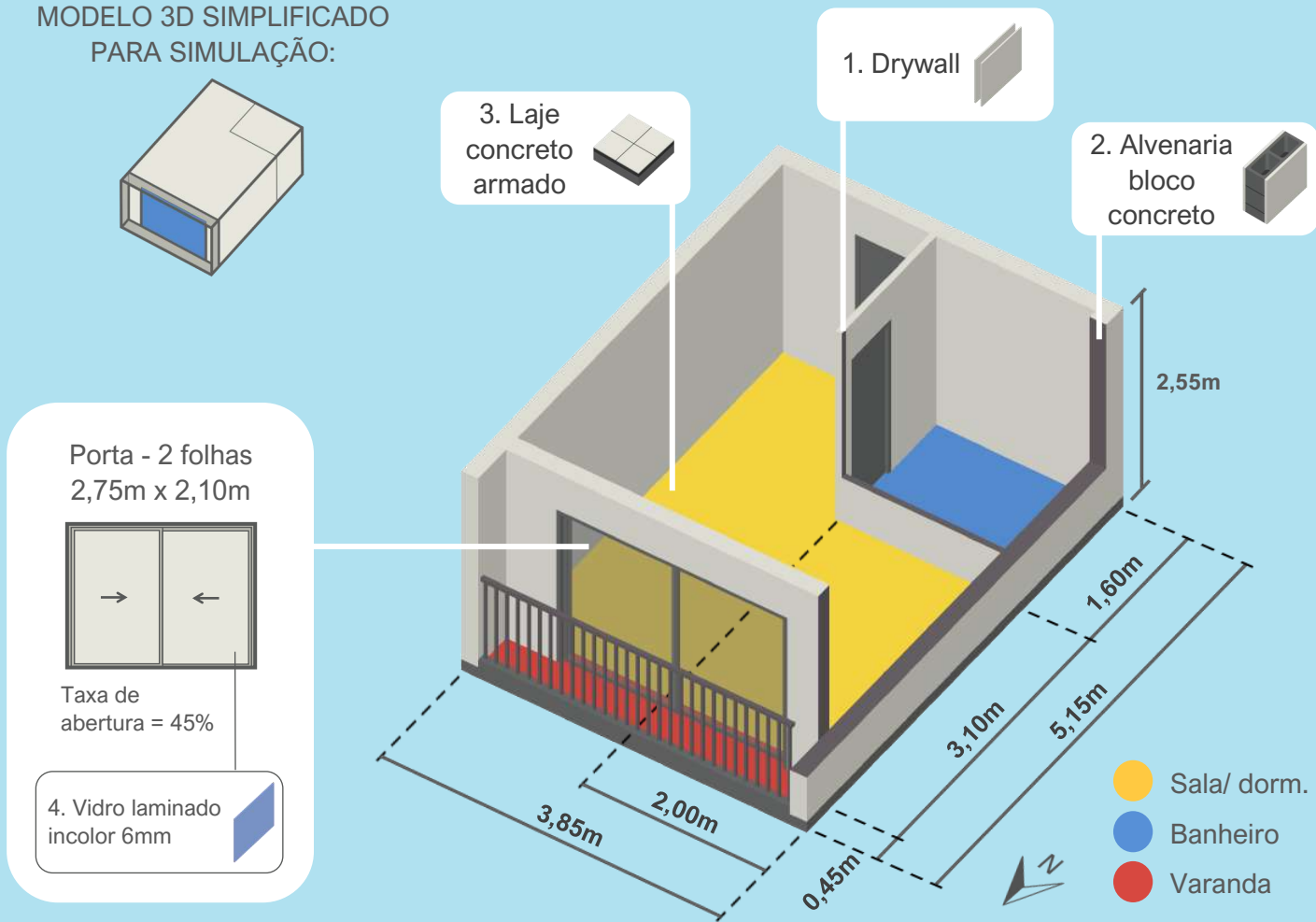


Figura 12: Cenário de projeto.

Perspectiva esquemática da unidade estudada e detalhamento dos elementos construtivos.

Fonte: autora.

### 5.3.2. Análise de resultados

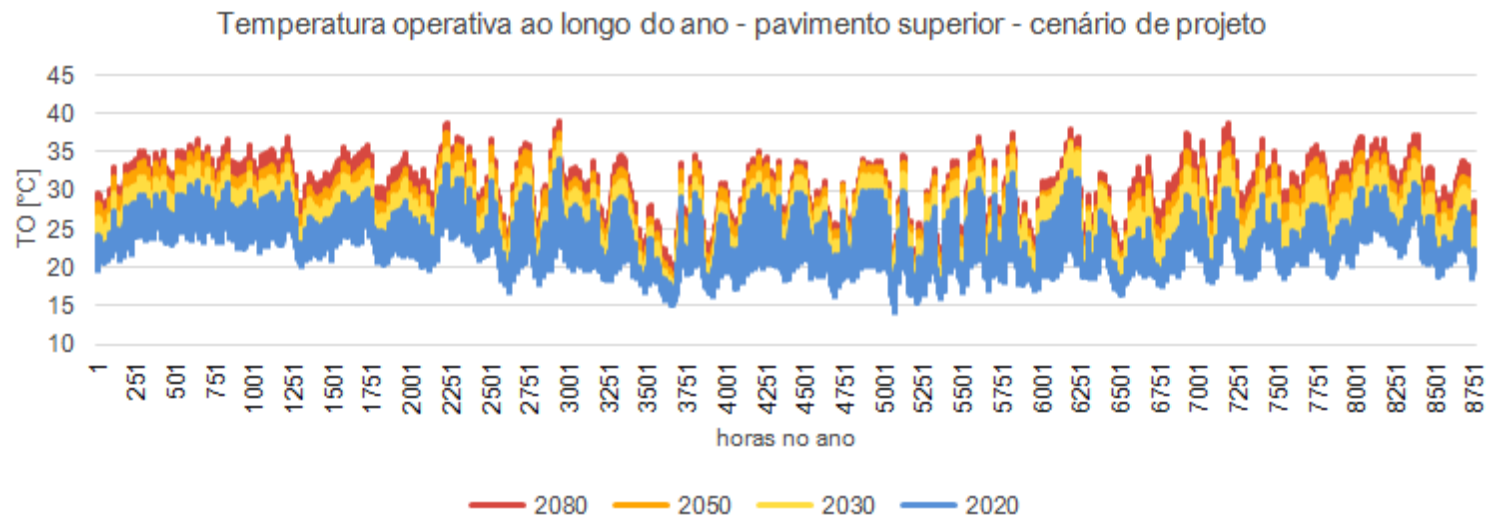
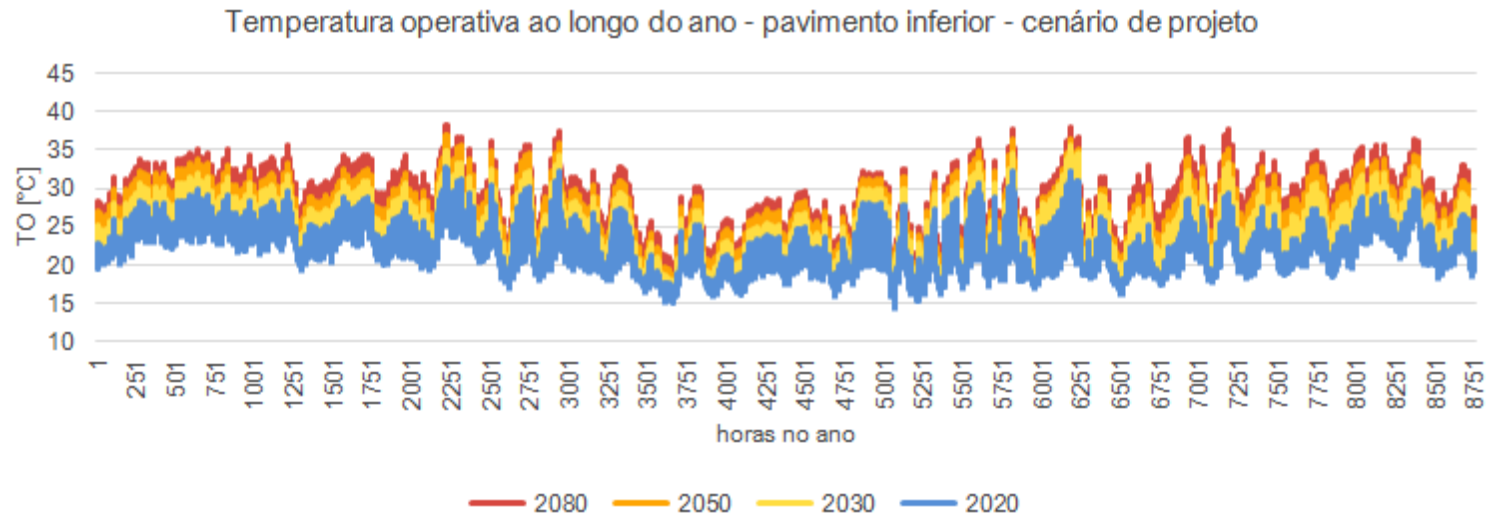


Figura 13: Temperatura operativa ao longo do ano—pavimento inferior—cenário de projeto. Gráfico resultante dos dados de temperatura operativa obtidos da simulação para os cenários climáticos atual e futuros.

Fonte: autora

Figura 14: Temperatura operativa ao longo do ano—pavimento superior—cenário de projeto. Gráfico resultante dos dados de temperatura operativa obtidos da simulação para os cenários climáticos atual e futuros.

Fonte: autora

Conforto térmico durante ocupação—cenário de projeto

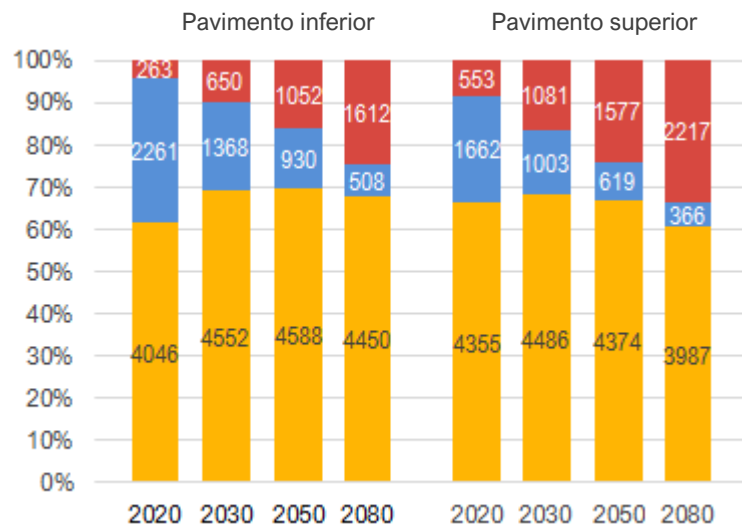


Figura 15: Conforto térmico durante ocupação—cenário de projeto.

Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor.

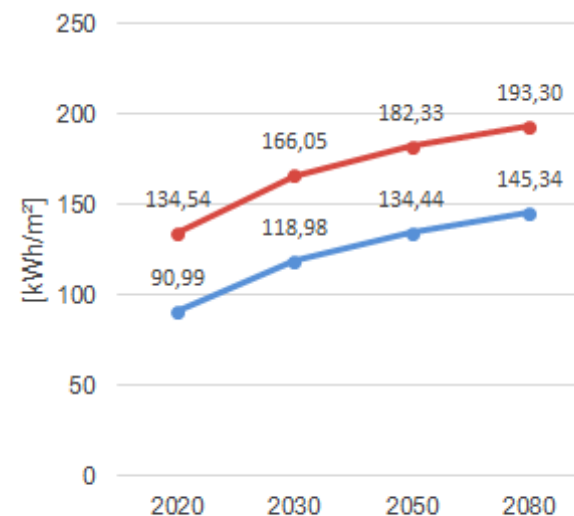
Fonte: autora.

Figura 16: Carga térmica de resfriamento—cenário de projeto.

Gráfico de demanda energética para resfriamento, mantendo as temperaturas internas máximas com até 23°C.

Fonte: autora.

Carga térmica de resfriamento—cenário de projeto



■ Desconforto por calor ■ Desconforto por frio ■ Conforto

● pav. inferior ● pav. superior

Figura 17: Temperaturas máximas e mínimas—cenário de projeto.

Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa.

Fonte: autora.

Temperaturas máximas e mínimas—cenário de projeto

Ano	2020	2030	2050	2080
TO <sub>máx.</sub> pav. inferior	32,7 °C	35,7 °C	37,0 °C	38,3 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. inferior	14,5 °C	16,0 °C	17,4 °C	18,2 °C
TO <sub>máx.</sub> pav. superior	34,0 °C	36,2 °C	37,6 °C	39,0 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. superior	14,2 °C	15,9 °C	17,1 °C	18,1 °C

A primeira análise dos dados resultantes da simulação mostrou que, apesar do claro aumento da temperatura operativa, houve uma certa estabilidade ou pequenas variações de horas totais em conforto no balanço anual referente a cada uma dos anos climáticos analisados. Isso acontece porque a grande proporção da área envidraçada em um ambiente de volume reduzido favorece a perda de calor para o meio externo, resultando em uma porcentagem relevante de horas em desconforto por frio, sobretudo na unidade do pavimento inferior, onde há menos incidência de radiação solar direta. Sendo assim, mesmo com o aumento de horas em desconforto por calor, nos anos seguintes, parte do período em desconforto por frio se converte em horas de conforto.

Entretanto, deve-se dar atenção especial a esse aumento expressivo de horas em desconforto por calor, que passa de 4% para 25% das horas ocupadas (no período de um ano) na unidade do pavimento inferior, e de 8% para 34% na unidade do pavimento superior. Ademais, essa elevação das temperaturas operativas afeta diretamente o desempenho energético, uma vez que se observa também um grande aumento da carga térmica de resfriamento tanto para a unidade do

pavimento inferior, quanto para a unidade do pavimento superior.

É importante esclarecer que, como já citado no item anterior, os valores de carga térmica de resfriamento aqui tratados não são equivalentes ao consumo real do equipamento de ar-condicionado e, sim, a quantidade de energia necessária para reduzir a temperatura interna do ambiente quando este atinge níveis iguais ou acima de 23°C. Ou seja, para a unidade do pavimento inferior, por exemplo, a carga térmica de resfriamento calculada foi de 1355264W para o ano de 2020 e 2879161W para 2080, portanto um aumento de quase 60%; esses valores de carga térmica não são equivalentes ao consumo bruto de energia que seria demandada pelo equipamento de ar-condicionado, entretanto, pode-se considerar que a porcentagem de aumento deste seria diretamente proporcional. O mesmo acontece para a unidade do pavimento superior, que apresenta um aumento de carga térmica de resfriamento de aproximadamente 44%.

## 5.4. Cenário hipotético de envidraçamento

### 5.4.1 Premissas de simulação

Através da catalogação e sistematização (capítulo 4), constatou-se uma forte tendência de envidraçamento da varanda em apartamentos *studio*: 86% das unidades catalogadas possuem varanda e, delas, quase um terço apresenta algum tipo de incentivo direto à integração da sala com a varanda em suas peças publicitárias—citação de entrega com piso nivelado entre os ambientes e/ou plantas humanizadas já representadas com a integração. Essa prática resulta em um aumento da área de permanência prologada e fechamento do perímetro da, outrora, varanda com pano de vidro.

Esses fatores afetam diretamente o desempenho térmico do apartamento, principalmente devido ao aumento expressivo da superfície envidraçada, pois o vidro possui uma transmitância térmica muito alta em comparação com uma parede de alvenaria, por exemplo. Portanto, o envidraçamento facilita a perda de calor para o meio externo na ausência de incidência solar direta e o ganho excessivo de calor no caso de incidência solar direta (potencializada pelo efeito estufa).

Em outras palavras, essa ampliação da área envidraçada faz com que o ambiente interno se torne mais suscetível às mudanças de temperatura globais.

Sendo assim, considerou-se de interesse realizar uma análise mais aprofundada sobre o desempenho térmico da unidade sob essas alterações. Dessa forma, foi proposto um novo layout para a unidade estudada, passando de 19m<sup>2</sup> para aproximadamente 20,7m<sup>2</sup> com a integração da varanda à área da sala/dormitório (figuras 18 e 19), eliminado assim os elementos de sombreamento que correspondiam à varanda e ampliando as dimensões da superfície de vidro para toda a extensão da parede de fachada do apartamento.

Para o fechamento, foram consideradas duas possibilidades de caixilharia<sup>10</sup>:

- A) 6 folhas de vidro móveis do chão ao teto, mantendo-se o guarda-corpo metálico (taxa de abertura = 95%);
- B) 6 folhas de vidro móveis com peitoril de vidro fixo (taxa de abertura = 47,5%).

<sup>10</sup> Para determinação do desenho do caixilho, foi utilizado como referência um fechamento com painéis de vidro deslizante-giratório, cujas dimensões foram estimadas com base no catálogo da linha Mirante (HYDRO, 2022) para fechamento de sacadas.

Para as taxas de abertura, considerou-se valores recomendados pelo PBE Edifica (PROCEL, 2012)<sup>11</sup>, de 95% para cortinas de vidro. Portanto o novo modelo de integração e envidraçamento foi simulado sob as mesmas premissas do estudo anterior (subcapítulo 5.3.), sendo 95% de taxa de abertura para o pano de vidro tipo A no caso de temperaturas internas iguais ou acima de 19°C, e 47,5% de abertura para o tipo B (metade dos 95%, considerando o peitoril envidraçado fixo).

Todavia, apesar de constar como recomendação formal, essas taxas de abertura correspondem à capacidade de abertura máxima desse tipo de esquadria, mas, no caso de um ambiente de sala/dormitório, pressupõe-se que a abertura total da cortina de vidro não seja tão usual devido à probabilidade de gerar fluxos de vento desagradáveis. Sendo assim, foram propostas mais simulações sob outras duas condições de operação de aberturas, a fim de contemplar situações supostamente mais próximas da realidade:

C) 6 folhas de vidro móveis do chão ao teto, mantendo-se o guarda-corpo metálico e tendo a abertura de apenas uma das folhas (taxa de abertura = 16%);

D) 6 folhas de vidro móveis com peitoril de vidro fixo (taxa de abertura = 8%).

A análise de cargas térmicas de resfriamento, entretanto, foi realizada para o modelo de integração da varanda em apenas uma simulação, uma vez que desconsidera-se a ventilação natural.

<sup>11</sup> PROCEL, 2012. Manual para aplicação do RTQ-R 4.2. Anexo II —Tabela de desconto das esquadrias.

## INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL DO CHÃO AO TETO

MODELO 3D SIMPLIFICADO  
PARA SIMULAÇÃO:

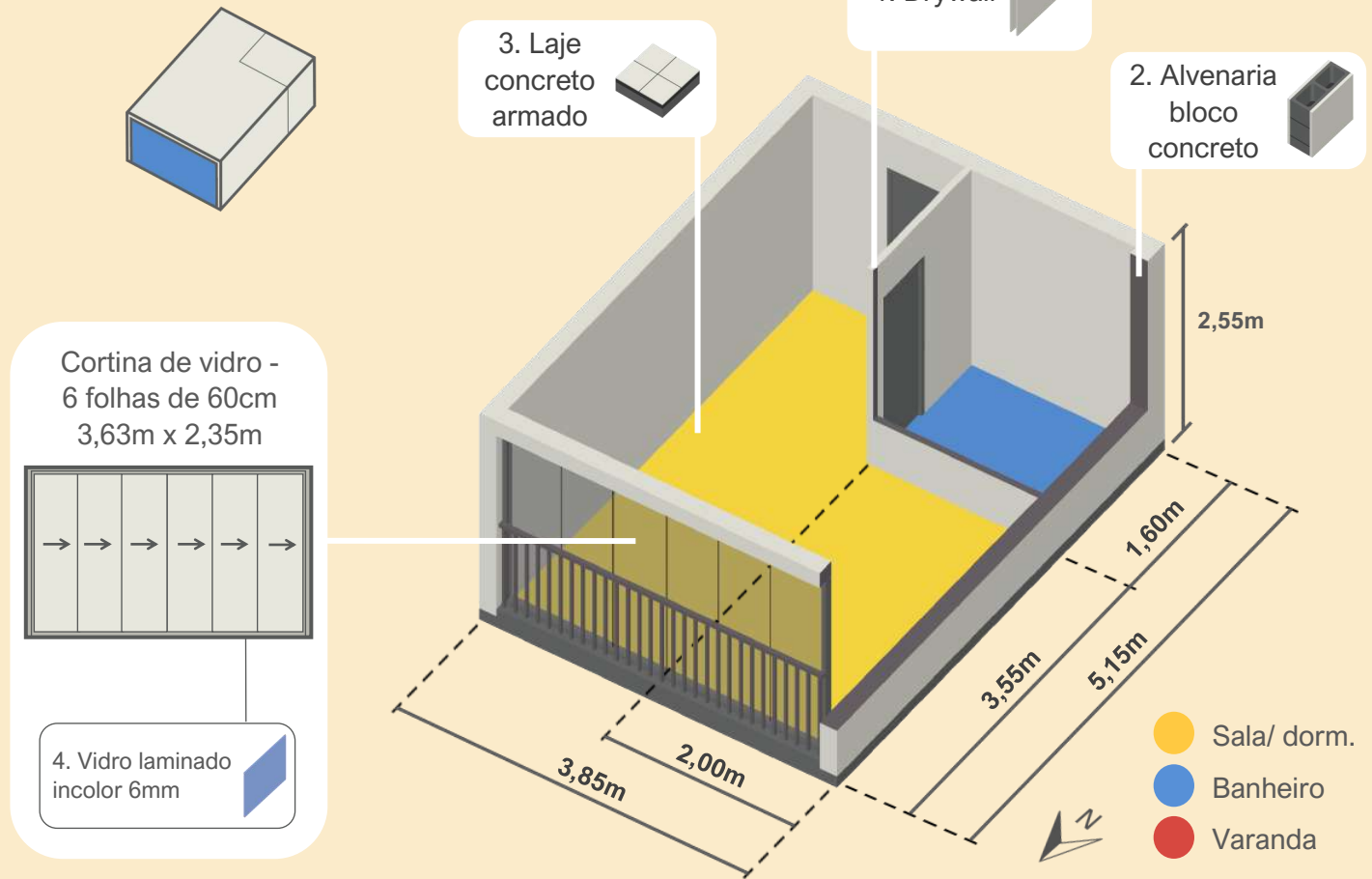


Figura 18: Integração com cortina de vidro móvel do chão ao teto. Perspectiva esquemática da unidade estudada com integração da varanda com a sala/dormitório e detalhamento dos elementos construtivos.  
Fonte: autora.

## INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL + PEITORIL ENVIDRAÇADO

MODELO 3D SIMPLIFICADO  
PARA SIMULAÇÃO:

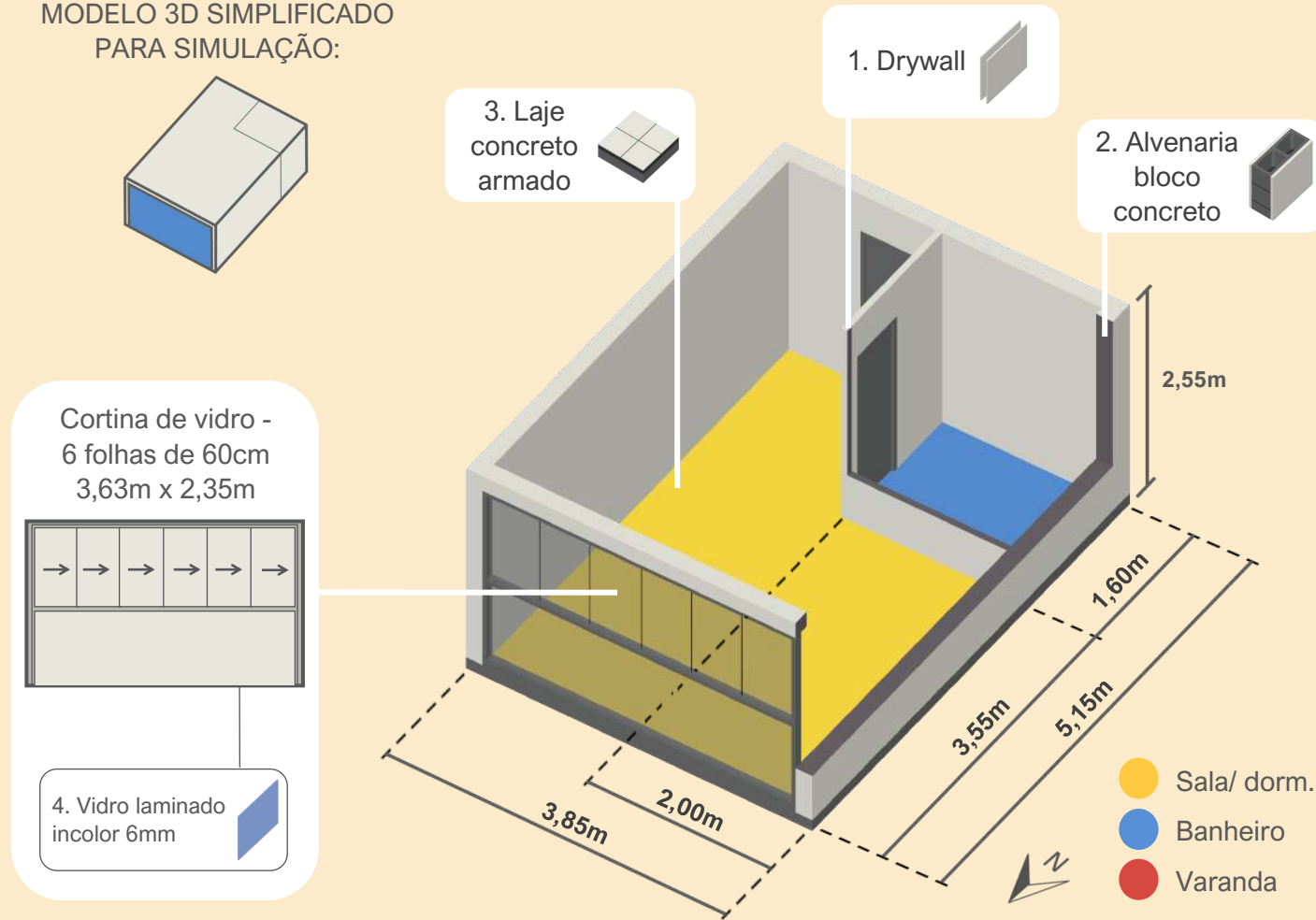
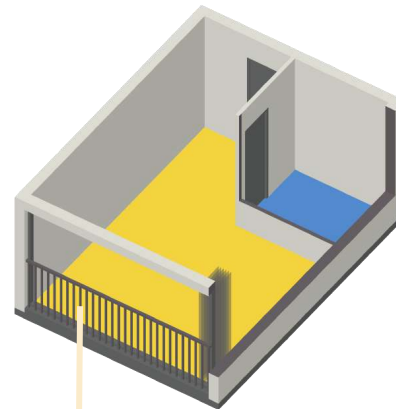


Figura 19: Integração com cortina de vidro móvel + peitoril envidraçado. Perspectiva esquemática da unidade estudada com integração da varanda com a sala/dormitório e detalhamento dos elementos construtivos.  
Fonte: autora.

### 5.3.2. Análise de resultados

#### A) INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL DO CHÃO AO TETO (TAXA DE ABERTURA = 95%)

Figura 20: Integração com cortina de vidro móvel do chão ao teto (taxa de abertura = 95%). Perspectiva esquemática da unidade estudada com abertura total da cortina de vidro.  
Fonte: autora.



Cortina de vidro -  
6 folhas de 60cm  
3,63m x 2,35m

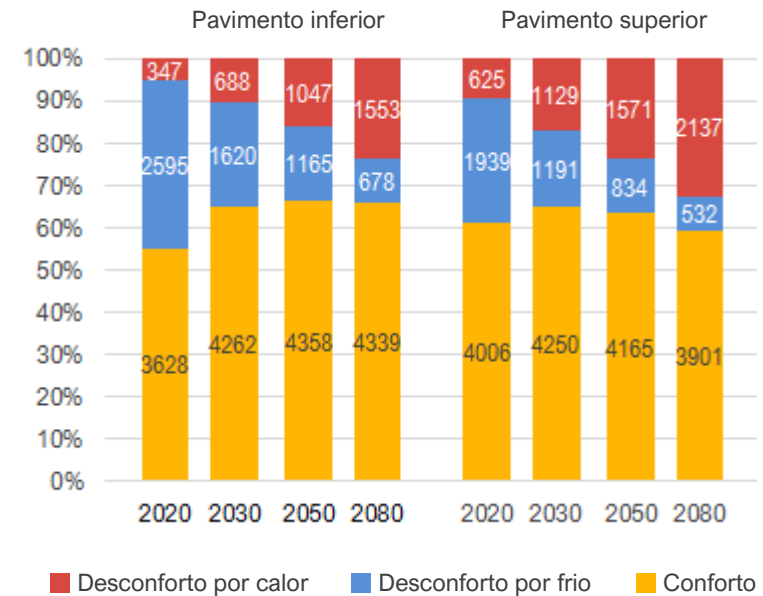


Taxa de  
abertura = 95%

Figura 21: Conforto térmico durante ocupação—cenário A. Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor.  
Fonte: autora.

Figura 22: Temperaturas máximas e mínimas—cenário A. Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa.  
Fonte: autora.

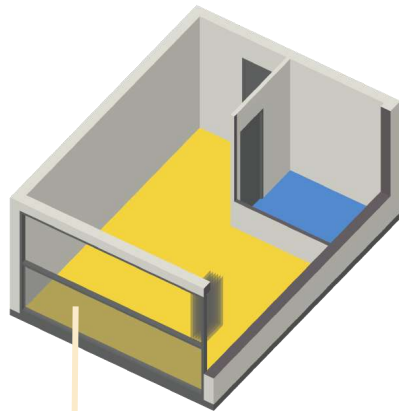
Conforto térmico durante ocupação—  
cenário A



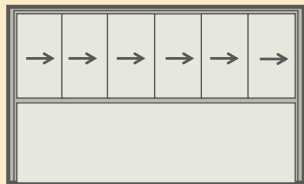
Temperaturas máximas e mínimas—cenário A

Ano	2020	2030	2050	2080
T <sub>Omáx.</sub> pav. inferior	35,4 °C	38,8 °C	40,0 °C	40,9 °C
T <sub>Omín.</sub> pav. inferior	14,1 °C	15,8 °C	17,0 °C	18,0 °C
T <sub>Omáx.</sub> pav. superior	37,0 °C	39,7 °C	40,6 °C	42,0 °C
T <sub>Omín.</sub> pav. superior	14,2 °C	15,9 °C	17,1 °C	18,1 °C

**B) INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL + PEITORIL ENVIDRAÇADO (TAXA DE ABERTURA = 47,5%)**

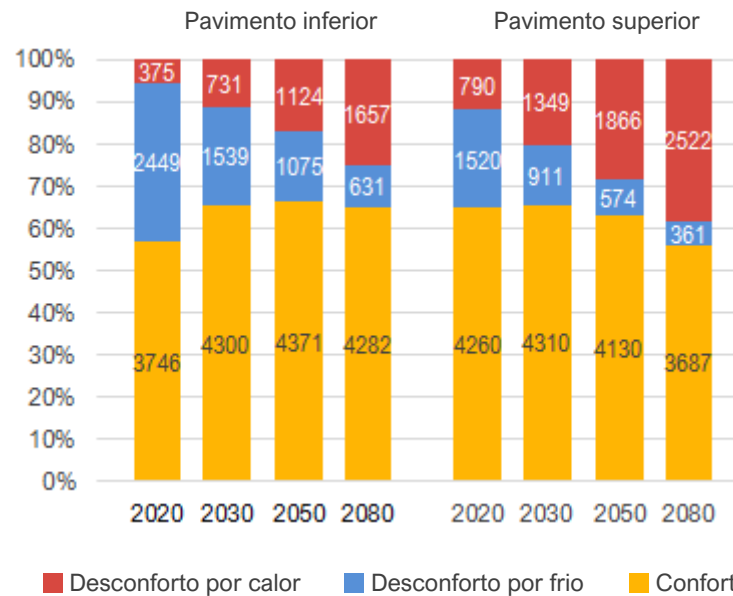


Cortina de vidro -  
6 folhas de 60cm  
3,63m x 2,35m



Taxa de  
abertura = 47,5%

**Conforto térmico durante ocupação—  
cenário B**



Temperaturas máximas  
e mínimas—cenário B

Ano	2020	2030	2050	2080
TO <sub>máx.</sub> pav. inferior	35,5 °C	39,0 °C	40,1 °C	41,0 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. inferior	14,2 °C	15,8 °C	17,0 °C	18,1 °C
TO <sub>máx.</sub> pav. superior	37,4 °C	40,2 °C	40,9 °C	42,3 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. superior	14,4 °C	16,0 °C	17,3 °C	18,2 °C

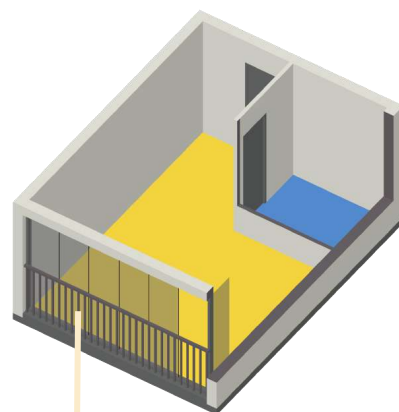
Figura 23: Integração com cortina de vidro móvel + peitoril envidraçado (taxa de abertura = 47,5%). Perspectiva esquemática da unidade de estudo com abertura total da cortina de vidro. Fonte: autora.

Figura 24: Conforto térmico durante ocupação—cenário B. Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor. Fonte: autora.

Figura 25: Temperaturas máximas e mínimas—cenário B. Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa. Fonte: autora.

### C) INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL DO CHÃO AO TETO (TAXA DE ABERTURA = 16%)

Figura 26: Integração com cortina de vidro móvel do chão ao teto (taxa de abertura = 16%). Perspectiva esquemática da unidade estudada com abertura parcial da cortina de vidro.  
Fonte: autora.



Cortina de vidro -  
6 folhas de 60cm  
3,63m x 2,35m

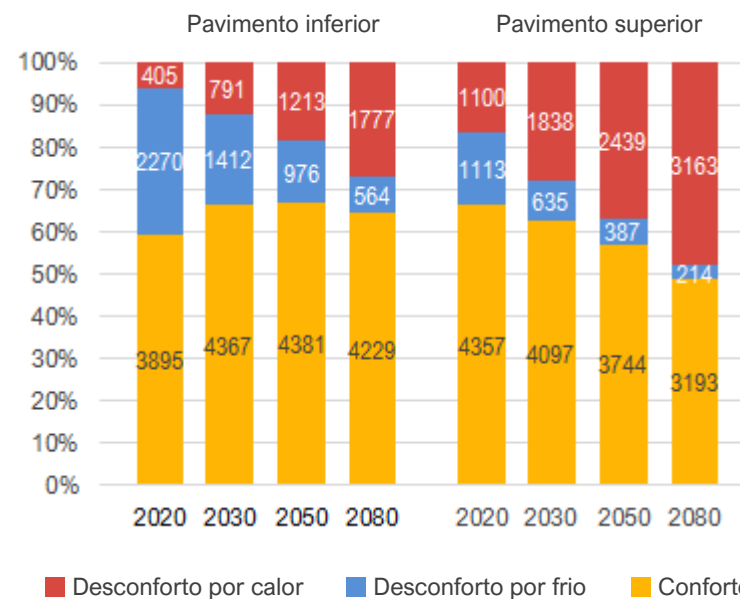


Taxa de  
abertura = 16%

Figura 27: Conforto térmico durante ocupação—cenário C. Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor.  
Fonte: autora.

Figura 28: Temperaturas máximas e mínimas—cenário C. Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa.  
Fonte: autora.

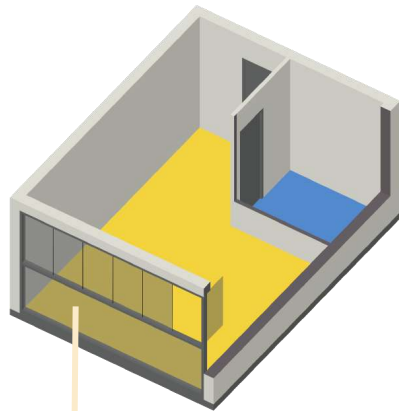
Conforto térmico durante ocupação—  
cenário C



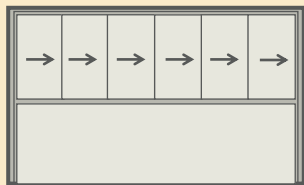
Temperaturas máximas  
e mínimas—cenário C

Ano	2020	2030	2050	2080
T <sub>Omáx.</sub> pav. inferior	35,6 °C	39,3 °C	40,2 °C	41,1 °C
T <sub>Omín.</sub> pav. inferior	14,2 °C	15,9 °C	17,1 °C	18,0 °C
T <sub>Omáx.</sub> pav. superior	38,3 °C	41,3 °C	41,9 °C	43,2 °C
T <sub>Omín.</sub> pav. superior	14,5 °C	16,2 °C	17,5 °C	18,4 °C

**D) INTEGRAÇÃO COM CORTINA DE VIDRO MÓVEL + PEITORIL ENVIDRAÇADO (TAXA DE ABERTURA = 8%)**

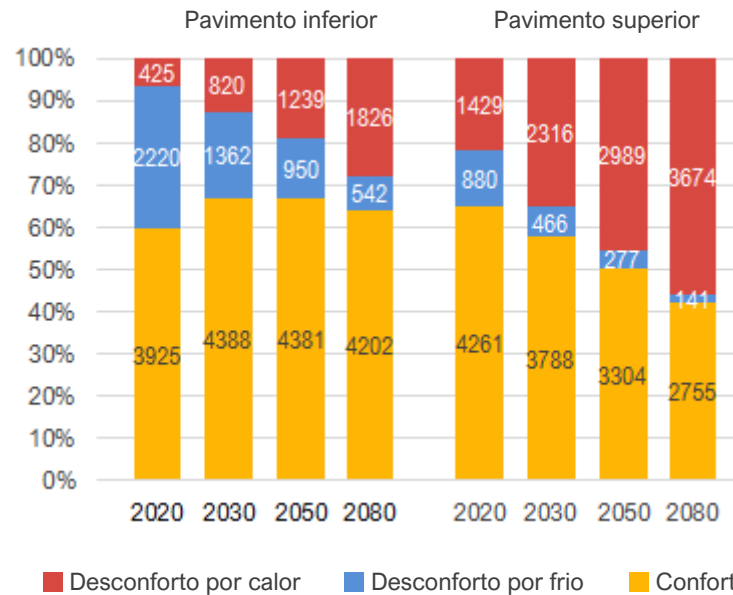


Cortina de vidro -  
6 folhas de 60cm  
3,63m x 2,35m



Taxa de  
abertura = 8%

**Conforto térmico durante ocupação—  
cenário D**



Temperaturas máximas  
e mínimas—cenário D

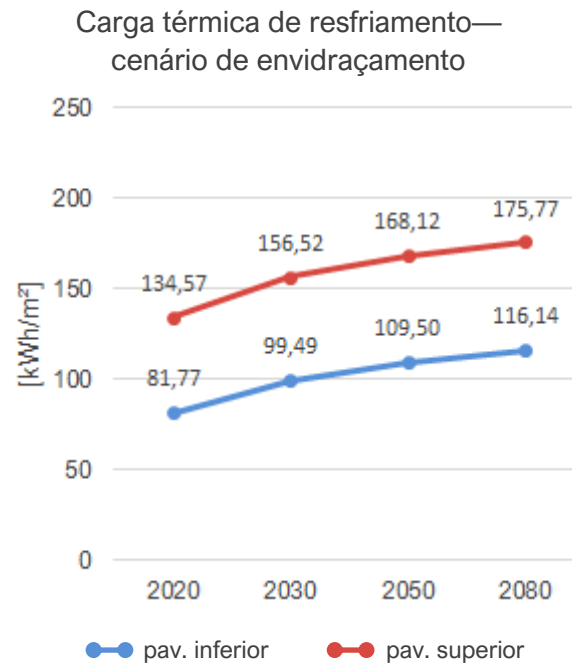
Ano	2020	2030	2050	2080
TO <sub>máx.</sub> pav. inferior	35,7 °C	39,4 °C	40,3 °C	41,1 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. inferior	14,2 °C	15,9 °C	17,2 °C	18,1 °C
TO <sub>máx.</sub> pav. superior	39,2 °C	42,3 °C	42,6 °C	43,9 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. superior	14,7 °C	16,4 °C	17,7 °C	18,7 °C

Figura 29: Integração com cortina de vidro móvel + peitoril envidraçado (taxa de abertura = 8%). Perspectiva esquemática da unidade estudada com abertura parcial da cortina de vidro. Fonte: autora.

Figura 30: Conforto térmico durante ocupação—cenário D. Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor. Fonte: autora.

Figura 31: Temperaturas máximas e mínimas—cenário D. Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa. Fonte: autora.

Figura 32: Carga térmica de resfriamento—cenário de envidraçamento. Gráfico de demanda energética para resfriamento, mantendo as temperaturas internas máximas com até 23°C. Fonte: autora.



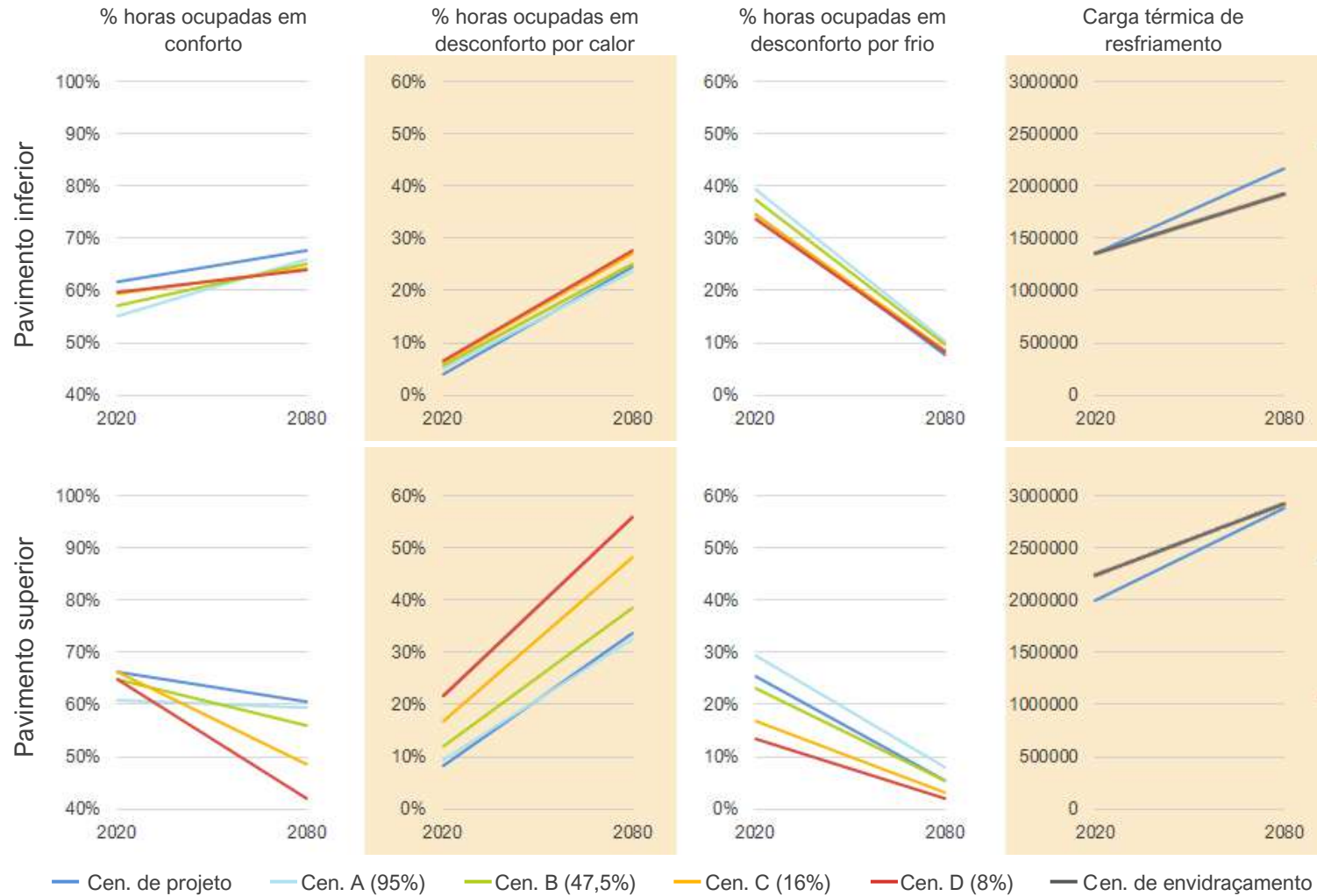
Analisando comparativamente os resultados das simulações (figura 33), observa-se uma alteração mais tênue do desempenho térmico para a unidade do pavimento inferior, com um aumento modesto das horas em desconforto tanto por frio quanto por calor nos quatro cenários de envidraçamento quando comparados com o cenário de projeto, resultando assim, na diminuição das horas ocupadas em conforto. Também houve uma diminuição na demanda energética para

resfriamento, pois, tendo menos incidência solar direta no pavimento inferior, há uma tendência maior de perda de calor para o meio externo através do vidro.

Os resultados obtidos para o pavimento superior, por outro lado, revelaram variações bastante significativas. Os cenários B, C e D foram muito afetados pelo calor—sobretudo o cenário D, o qual, apesar de apresentar uma diminuição considerável das horas em desconforto por frio, teve um aumento drástico nas horas em desconforto por calor se comparado ao cenário de projeto, provocando uma redução das horas em conforto (de 65% em 2020 para 42% em 2080). Entretanto, o cenário A, especificamente, apresentou resultados diferentes, com níveis de conforto e desconforto semelhantes à situação de projeto; isso ocorre, pois a maior taxa de abertura do pano de vidro mitiga o efeito estufa que aquece os outros três cenários

É importante citar também que os valores de temperatura operativa máxima foram significativamente mais altas nos cenários envidraçados: de 39°C no cenário de projeto para o pavimento superior em 2080, para 43,9°C no cenário D. Ou seja, pode-se afirmar também que o envidraçamento agrava os picos de calor, manifestando temperaturas mais extremas.

### Comparação de resultados—cenários de envidraçamento



Alerta-se sobre os resultados de carga térmica de resfriamento aqui apresentadas: nota-se que, apesar das horas em desconforto por calor terem aumentado significativamente entre 2020 e 2080, os valores de carga térmica de resfriamento reduziram ou se mantiveram em comparação com o cenário de projeto. Sendo assim, essa simulação em particular merece ser investigada mais profundamente, seja nos parâmetros específicos utilizados, seja na qualidade do programa utilizado para essa análise em particular.

**Figura 33: Comparação de resultados—cenários de envidraçamento.** Conjunto de gráficos comparativos dos resultados do cenário de projeto e dos cenários de envidraçamento (A, B, C e D).  
Fonte: autora.

## 5.5. Cenário estratégico para redução de consumo energético

### 5.5.1 Premissas de simulação

Apesar da integração da varanda com a sala/dormitório e fechamento de vidro ser uma prática que prejudica o desempenho térmico da unidade *studio*, a varanda em si pode ser um elemento positivo do ponto de vista térmico se for mantido como uma área de permanência transitória. Essa extensão da laje fornece sombreamento para apartamento, podendo então ser considerada como uma estratégia de resfriamento passivo ao reduzir os níveis de incidência solar direta e, assim, podendo mitigar o aumento da temperatura interna consequente do aumento de temperatura externa devido às mudanças climáticas.

Portanto, foi proposto um cenário que aplicasse estratégias combinadas, cujo principal objetivo a redução do consumo energético por resfriamento por ar-condicionado e a quantificação dessa economia energética. Para tal, primeiramente, foi adotada a ampliação da varanda como elemento de sombreamento. Na situação de projeto, a varanda da unidade estudada possui apenas 0,45m de largura, entretanto, as demais unidades do edifício (maiores, com 2 e 3 dormitórios)

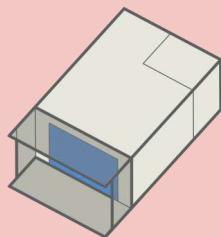
possuem varandas mais amplas, com 1,08m somado ainda à uma aba de 0,45m (provavelmente uma exigência pela norma de segurança contra incêndio, mas que amplia o sombreamento desejado), sendo assim, a proposta foi de ampliar a varanda do *studio* de forma a fazer o alinhamento com as demais unidades do edifício.

Somado a isso, também foi proposta a alteração do *setpoint* do equipamento de ar-condicionado de 23° C para 26° C, ou seja, o aparelho estaria ligado para temperaturas internas acima dos 26° C nessa nova análise. Essa estratégia se apoia na ideia de adaptação comportamental do usuário, que assumiria temperaturas um pouco mais elevadas, mas toleráveis, pelo benefício da diminuição do consumo energético.

As demais premissas de simulação são as mesmas do cenário de projeto (subcapítulo 5.3.).

## AMPLIAÇÃO DO SOMBREAMENTO

MODELO 3D SIMPLIFICADO  
PARA SIMULAÇÃO:



3. Laje  
concreto  
armado



1. Drywall



2. Alvenaria  
bloco  
concreto

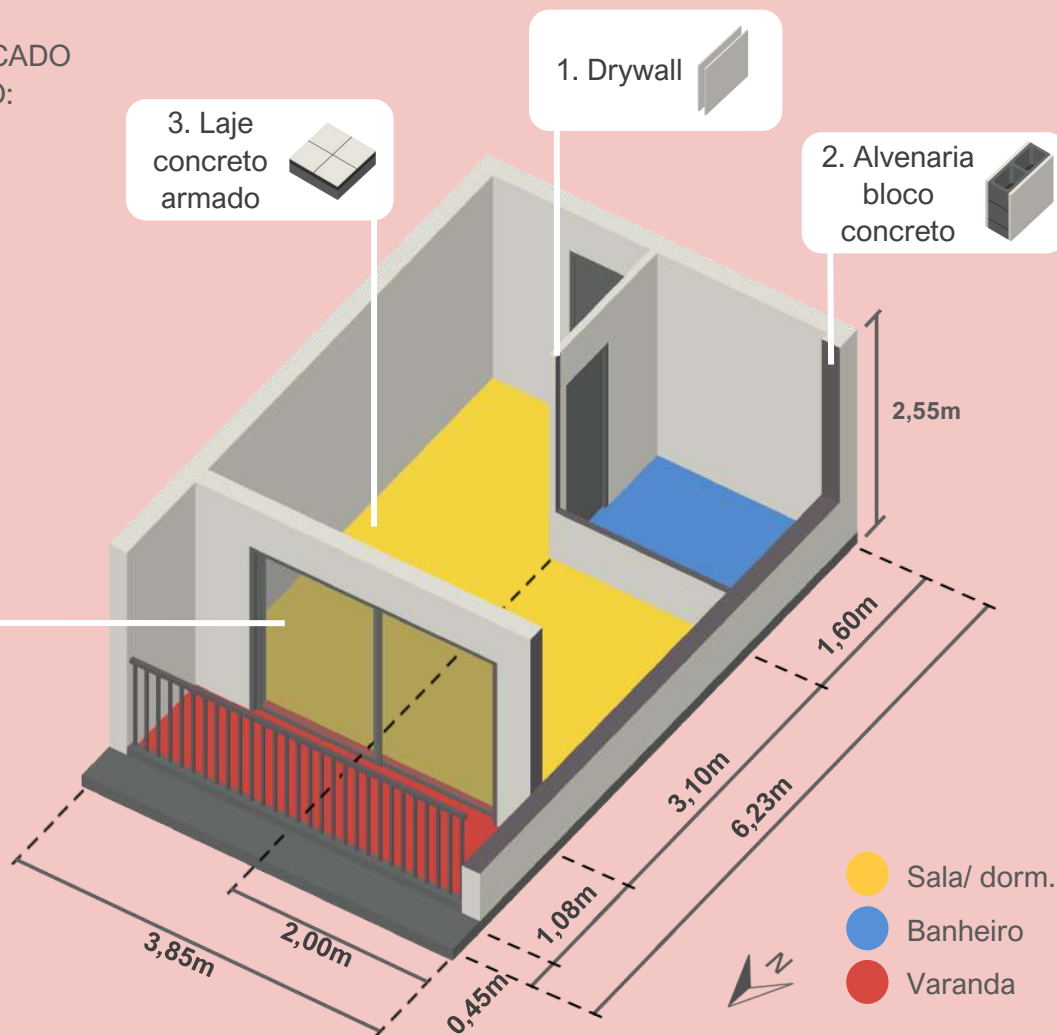


Porta - 2 folhas  
2,75m x 2,10m



Taxa de  
abertura = 45%

4. Vidro laminado  
incolor 6mm



- Sala/ dorm.
- Banheiro
- Varanda

Figura 34: Ampliação do sombreamento. Perspectiva esquemática da unidade estudada com ampliação da varanda e detalhamento dos elementos construtivos. Fonte: autora.

## 5.5.2. Análise de resultados

Conforto térmico durante ocupação—cenário estratégico

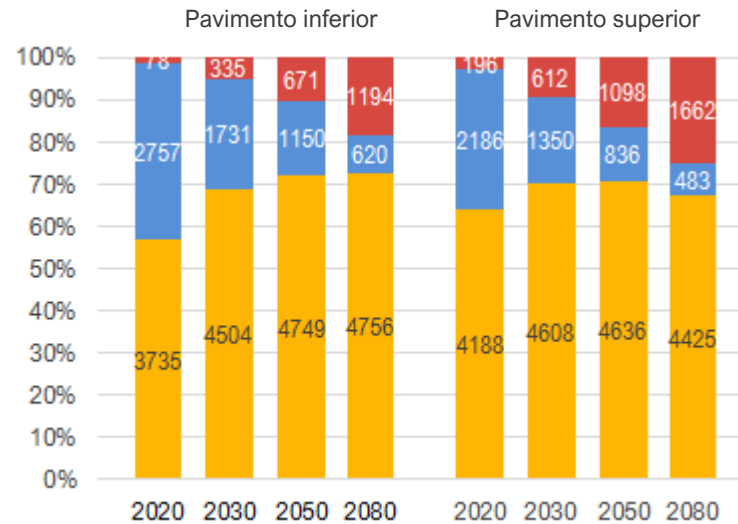


Figura 35: Conforto térmico durante ocupação—cenário estratégico.

Gráfico resumo de porcentagens de horas ocupadas em conforto ou desconforto por frio ou calor.

Fonte: autora.

Figura 36: Carga térmica de resfriamento—cenário estratégico.

Gráfico de demanda energética para resfriamento, mantendo as temperaturas internas máximas com até 26°C.

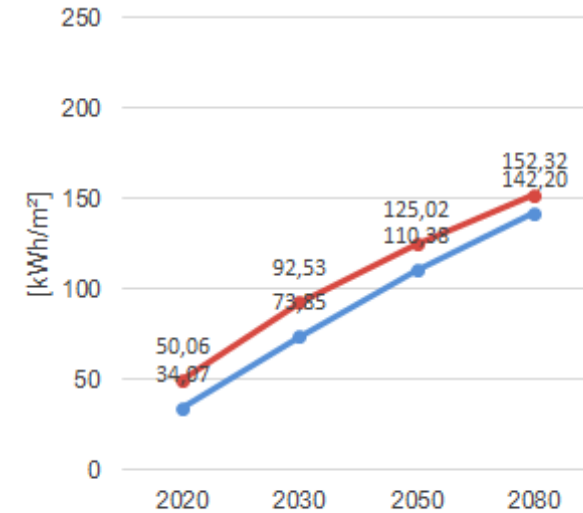
Fonte: autora.

Figura 37: Temperaturas máximas e mínimas—cenário estratégico.

Tabela de valores máximos e mínimos de temperatura operativa.

Fonte: autora.

Carga térmica de resfriamento—cenário estratégico



■ Desconforto por calor ■ Desconforto por frio ■ Conforto

● pav. inferior ● pav. superior

Temperaturas máximas e mínimas—cenário estratégico

Ano	2020	2030	2050	2080
TO <sub>máx.</sub> pav. inferior	29,8 °C	32,5 °C	34,2 °C	36,7 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. inferior	14,1 °C	15,7 °C	17,1 °C	18,0 °C
TO <sub>máx.</sub> pav. superior	30,6 °C	33,3 °C	35,3 °C	37,8 °C
TO <sub>mín.</sub> pav. superior	13,7 °C	15,4 °C	16,8 °C	17,9 °C

### Comparação de resultados—cenários de envidraçamento

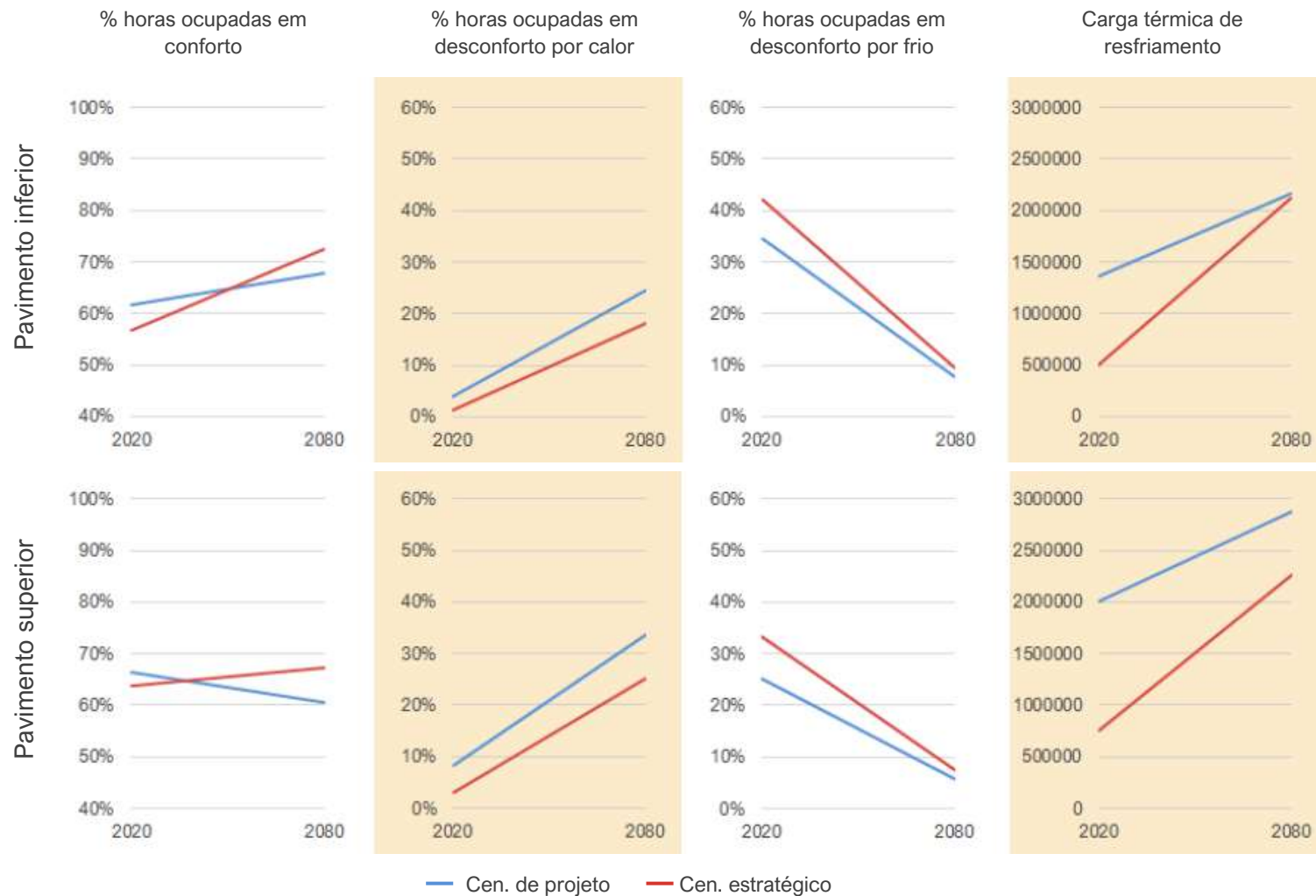


Figura 38: Comparação de resultados—cenário estratégico. Conjunto de gráficos comparativos dos resultados do cenário de projeto e do cenário estratégico  
Fonte: autora.

**Figura 39: Redução das cargas térmicas de resfriamento do cenário estratégico em comparação com o cenário de projeto.** Tabela comparativa de porcentagens de redução nos valores de carga térmica de resfriamento, comprovando a eficiência das propostas do cenário estratégico na redução do consumo energético por ar-condicionado em comparação ao cenário de projeto.

Fonte: autora.

Redução das cargas térmicas de resfriamento do cenário estratégico em comparação com o cenário de projeto

	2020	2030	2050	2080
pav. inferior	62,8%	37,9%	17,9%	2,2%
pav. superior	62,8%	44,3%	31,4%	21,2%

Os resultados obtidos por simulação do cenário estratégico apresentou uma piora das horas em desconforto por frio para o cenário climático atual (2020) quando comparado com o cenário de projeto (figura 38), isso porque o sombreamento agrava o problema de frio existente no clima atual. Todavia, esse desconforto por frio tende a diminuir com o passar das décadas, chegando a níveis semelhantes aos da situação de projeto em 2080.

Essas horas de frio no ano de 2020 reduzem a porcentagem de horas ocupadas em conforto, entretanto, a situação se inverte no cenário climático futuro de 2080, tendo níveis de conforto maiores do que o cenário de projeto. Isso se deve à quantia significativa menor de horas em desconforto por calor, principalmente na unidade do pavimento superior.

Por fim, o cálculo de carga térmica de resfriamento revelou níveis de demanda energética bem mais baixos para ambos os pavimentos no clima atual. E, apesar da unidade do pavimento inferior chegar a valores semelhantes aos da situação de projeto no ano de 2080, o pavimento superior manteve uma diferença considerável. A unidade que mais se beneficiou das estratégias de sombreamento e mudança do *setpoint* do ar-condicionado foi a do pavimento superior, com uma redução de carga térmica de resfriamento de quase 63% no ano de 2020, e de 21% no ano de 2080 (figura 39).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recente produção imobiliária em São Paulo segue as demandas de um público novo com composições familiares reduzidas, ao mesmo tempo em que se aproveita das tendências do mercado imobiliário para maximizar o lucro sobre a construção de unidades habitacionais cada vez menores. Isso resulta na produção de grandes edifícios compostos por muitas unidades de áreas úteis reduzidas, seguindo formatos e materiais construtivos bastante padronizados. Os projetos são tão padronizados que as construtoras e incorporadoras se empenham muito em exaltar, em seus anúncios publicitários de venda de apartamentos, as áreas comuns dos empreendimentos, mas pouco se exhibe das unidades residenciais em si e isso se dá porque a produção de apartamentos *studio* é, muitas vezes, feita com “projetos-carimbo”, muito semelhantes entre si. Durante o processo de levantamento para catalogação e sistematização de apartamentos *studio* realizado como parte deste trabalho, chamou a atenção que, em alguns casos, houve certa dificuldade em encontrar as plantas das unidades, ao mesmo tempo em que havia muitas imagens produzidas das áreas de piscinas, lavanderias compartilhadas, academias e áreas de *coworking*, com riqueza de detalhes; muitos anúncios publicitários disponibilizam

também plantas gerais dos pavimentos de lazer, mas poucos indicam qual a composição dos pavimentos residenciais.

O formato extremamente compacto do *studio* se assemelha muito e atenderia bem às necessidades exigidas de um quarto de hotel; entretanto, o confinamento causado pela pandemia de COVID-19 fez com que fossem levantados novos questionamentos quanto à eficiência dessa arquitetura em atender às necessidades de um uso residencial propriamente dito, com tempos de permanência mais prolongados. Diante da crise climática e aumento da frequência e intensidade de eventos de calor extremo, o confinamento como forma de se evitar as altas temperaturas pode se tornar cada vez mais uma realidade; sendo assim, este trabalho também considerou de extrema importância que a unidade *studio* fosse estudada quanto ao seu desempenho térmico e sua eficiência, não só como moradia, mas também como um possível refúgio, para a realização de boa parte das atividades diárias dos ocupantes, em situações de temperaturas elevadas, relacionadas às mudanças climáticas nas próximas décadas.

Dessa forma, o estudo de desempenho térmico por simulação computacional foi realizado para os anos

climáticos 2020, 2030, 2050 e 2080, e os resultados obtidos mostraram que, no cenário climático atual (2020), a unidade analisada apresentara uma porcentagem considerável de horas de ocupação em desconforto por frio. Com o passar dos anos e as projeções climáticas futuras, esse desconforto por frio diminuiu muito e, apesar de não haver grandes mudanças ou até pequenos aumentos nas horas de conforto térmico no balanço anual, a porcentagem de horas em desconforto por calor aumenta de forma expressiva, nos meses mais quentes do ano. O fator mais preocupante, entretanto, foi com relação às cargas térmicas de resfriamento, que aumentaram muito entre 2020 e 2080, caracterizando o aumento da demanda energética para manutenção de conforto térmico por condicionamento artificial.

O estudo do *studio* com a alteração de layout pela integração da varanda com a sala/dormitório e fechamento com cortina de vidro, também foi relevante para avaliação do efeito que essa alteração tem no desempenho térmico do apartamento. A mudança das dimensões da área de permanência prolongada e da composição dos elementos de envoltória devido ao envidraçamento afetam diretamente o comportamento térmico da unidade, tornando-o mais suscetível às mudanças do clima

externo, sobretudo se condicionado a limitações de abertura para ventilação natural. Visto que esta é uma tendência incentivada pelo mercado imobiliário, é importante que seja estudada para que se compreenda melhor as consequências dessas alterações para o desempenho térmico da unidade.

Por fim, a análise do sombreamento como recurso de resfriamento passivo também foi importante ao avaliar e comparar de forma objetiva a eficiência dessa estratégia diante das demandas futuras por resfriamento. O estudo realizado concluiu que a adoção dessa estratégia apresenta benefícios aos níveis de conforto térmico para o cenário climático futuro de temperaturas mais elevadas, apesar de piorar a condição atual (ano de 2020) de desconforto por frio.

A alteração do *setpoint* do equipamento de ar-condicionado para 26°C também se mostrou uma estratégia válida para redução da demanda energética voltada à refrigeração do ambiente. O resultado positivo evidencia que a adaptação comportamental dos usuários, combinada com desenhos arquitetônicos que favoreçam o resfriamento passivo, também pode ser considerada uma estratégia relevante nos esforços de redução do consumo de energia, colaborando para a mitigação das

emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, das mudanças do clima.

Apesar disso, é importante ressaltar a possibilidade de se obter resultados ainda melhores a partir de desdobramentos desses estudos iniciais, possivelmente de outras estratégias e suas possibilidades de combinação. Além disso, é interessante que haja o estudo de desempenho térmico da tipologia *studio* também sob outras condições para que se possa traçar um perfil mais fiel de comportamento térmico de pequenos apartamentos; uma vez que os resultados aqui apresentados são representativos especificamente da unidade selecionada como objeto de estudo, podendo haver variações de resultados consideráveis dependendo das composições dos elementos construtivos, da orientação de fachada, sombreamento dos edifícios do entorno imediato, entre outros fatores.

O trabalho de avaliação de desempenho termoeenergético sob diferentes circunstâncias e estratégias de melhora do conforto térmico é importante do ponto de vista de adaptação para as unidades *studio*, entretanto ainda se faz necessário rever esse modelo de moradia de forma mais aprofundada. O apartamento analisado apresentou níveis de desconforto consideráveis, seja por

frio em 2020, seja por calor em 2080, portanto, a discussão central e mais relevante deve ser sobre o próprio desenho do *studio*. É preciso rever a forma com que se está produzindo moradias do ponto de vista da arquitetura e sua relação com o clima.

A questão do desempenho térmico de pequenos apartamentos em São Paulo deve ser problematizada quanto à resiliência dos edifícios produzidos nos últimos anos perante a crise climática que vivemos. Portanto, mais estudos e pesquisas aprofundadas devem ser feitas para que sirvam de respaldo para eventuais alterações legislativas e/ou normativas que orientem melhores práticas arquitetônicas alinhadas às mudanças climáticas, tanto do ponto de vista de adaptação aos cenários futuros, quanto à capacidade de mitigação pelo consumo energético voltado a sistemas de climatização.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15220. 2005. **ABNT-NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

ABNT. NBR 15575. 2021. **ABNT-NBR 15575 - Edificações habitacionais Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais.** Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

ALVES, Carolina Abrahão, GONÇALVES Fábio Luiz Teixeira, DUARTE Denise Helena Silva. **The recent residential apartment buildings' thermal performance under the combined effect of the global and the local warming.** Energy and Buildings, Volume 238,110828, ISSN 0378-7788, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821001122>. Acesso em: 06 out. 2021.

ALVES, Carolina Abrahão. **A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição.** 2019. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-31072019-171853/>. Acesso em: 01 mar. 2022.

ANEXO II - Tabela de desconto das esquadrias. In: PROCEL. **Manual para aplicação do RTQ-R.** [S. l.: s. n.], 2012. p. 200-202. Disponível em: [https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual\\_de\\_aplica%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_%20RTQ-R-v01.pdf](https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf). Acesso em: 28 nov. 2022.

ANSI/ASHRAE, 2021. Standard 55, 2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Georgia: ASHRAE

APTO. Apto: Você apto para o novo, c2015. Página inicial. Disponível em: <https://apto.vc/>. Acesso em: 09 abr. 2022.

ARTAXO, Paulo. **As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáti-**

cas. Estudos Avançados [online]. v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TRsRMLDdzxRsz85QNYFQBHs/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 06 out. 2021

ASHRAE. 2021. **Residential COVID-19 Guidance**. Disponível em: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/ashrae-covid-19-residential-guidance.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2022.

BARBOSA, Ana. **Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Multifamiliares**. Orientador: Alberto Hernandez Neto. Início: 2022. Iniciação científica (Graduando em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo.

BLOOMER, Kent; MOORE, Charles. **Body, Memory and Architecture**. New Haven: Yale

COOK, Malcom; et. al. Guide to Low Energy Cooling and Ventilation for Indian Residences. In: **Buildings & Cities**. [S. l.], 20 abr. 2020. Disponível em: <https://www.buildingsandcities.org/insights/reviews/design-guide-low-energy-cooling-indian-residences.html>. Acesso em: 3 abr. 2022.

COSTS of climate change mitigation can be justified by the multiple immediate benefits to the health of humans and nature. In: FUTURE EARTH; THE EARTH LEAGUE; WCRP. **10 New Insights in Climate Change**. Estocolmo, 4 nov., p. 42-45, 2021. Disponível em: <https://10insightsclimate.science/#:~:text=10%20New%20Insights%20in%20Climate,Insights%20in%20Climate%20Science%202021&text=As%20this%20summary%20report%20shows,industrial%20levels%20is%20still%20possible>. Acesso em: 11 nov. 2021. University Press, 1977. 147 p.

DUARTE, Denise. **O meio ambiente urbano frente às várias crises do nosso tempo**. Pós, Rev. Programa Pós-Grad. Arquit. Urban. FAUUSP. São Paulo, v. 27, n. 51, e181845, p. 1-5, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/posfau/issue/view/11821>. Acesso em: 07 out. 2021.

EMBRAESP (Empresa Brasileira de Estudos de Patrimônio). GeoEmbras, c2018. Mapa interativo. Disponível em: <https://geoembraesp.com.br/index.aspx>. Acesso em: 09 abr. 2022.

EMMANUEL, M. Rohinton. **An Urban Approach to Climate-Sensitive Design**: Strategies for the Tropics. New York: Spon Press, 2005. 47

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **NOTA TÉCNICA EPE 030/2018 - Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética, Brasília (Brazil), 2018. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030\\_2018\\_18Dez2018.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf). Acesso em 09 abr. 2022.

HALL, Edward. **A dimensão Oculta**. 3. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989. 200 p.

HYDRO. **Mirante**: Sistema de fechamento de sacada deslizante-giratório. 3. ed. Catálogo de produtos. Disponível em: [https://www.hydro.com/globalassets/08-about-hydro/hydro-worldwide/brasil/extrudados/materiais-tecnicos/catalogo\\_mirante.pdf](https://www.hydro.com/globalassets/08-about-hydro/hydro-worldwide/brasil/extrudados/materiais-tecnicos/catalogo_mirante.pdf). Acesso em: 3 dez. 2022

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia); MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Normais Climatológicas do Brasil**: 1991 a 2020. Brasília, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 9 abr. 2022.

IPCC. **Cities, Settlements and Key Infrastructure**. IPCC: Sixth Assessment Report: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 1 out. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 23 abr. 2022.

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

MELO, MARIA CLARA FERREIRA DE; COSTA, Angelina. ADAPTAÇÕES ESPACIAIS NO AMBIENTE DOMÉSTICO E A OPINIÃO DO USUÁRIO: REFLEXÕES EM TEMPOS DE PANDEMIA. In: **Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais. Palmas (TO) online, p. 1823-1832, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340356-ADAPTACOES-ESPACIAIS-NO-AMBIENTE-DOMESTICO-E-A-OPINIAO-DO-USUARIO--REFLEXOES-EM-TEMPOS-DE-PANDEMIA>. Acesso em: 04 abr. 2022.

NICOL, Fergus; ROAF, Susan. Rethinking thermal comfort. **Building Research & Information**, v. 45, 30 mar. 2017. NO 7, p. 711-716. DOI 10.1080/09613218.2017.1301698. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09613218.2017.1301698?needAccess=true>. Acesso em: 8 out. 2022

OLIVEIRA, Beatriz et al. Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil. **Sustainability in debate** : UnB, Brasília, v. 11, n. 3, p. 314-330, dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/download/33970/28570/92733&cd=3&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 8 out. 2022.

ONG, Boon Lay (ed.). **Beyond Environmental Comfort**. New York: Routledge, 2013. 196 p. ISBN 978-0-415-45369-1.

ONG, Boon-Lay; BAY, Joo-Hwa. **Tropical Sustainable Architecture: Social and Environmental Dimensions**. 1. ed. Oxford: Architectural Press, 2006. 292 p.

PALLASMAA, Juhani. **Os olhos da pele: a arquitetura e os sentidos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 76 p. ISBN 978-85-7780-777-2.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. [Ribeiro,

S.K., Santos, A.S. (Eds.]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Geosampa. Mapa interativo. Disponível em: [http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx). Acesso em: 09 abr. 2022.

ROAF, Sue. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**: um guia de sobrevivência para o século XXI. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 384p.

ROLNIK, Raquel. **10-Square-Meter Apartments**: Minimizing Living Space or Maximizing Profit?. Archdaily, 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com/878752/10-square-meter-apartments-a-minimal-living-space-or-just-maximum-profit>. Acesso em: 25 mai. 2022.

RYASNEK, Adam. Rethinking IEQ Standards for a Warming Post-COVID World. In: **Buildings & Cities**. [S. l.], 8 fev. 2022. Disponível em: <https://www.buildingsandcities.org/insights/commentaries/rethinking-ieq-standards.html>. Acesso em: 3 abr. 2022.

SECOVI (Sindicato de Empresas de Comércio e Serviços Imobiliários). GeoSecovi SP: inteligência urbana, c2017. Mapa interativo de acesso pago. Disponível em: <http://www.geosecovi.com.br/index.php>. Acesso em: 09 abr. 2022.

SECOVI. **Anuário do Mercado Imobiliário 2020**. São Paulo-SP, 2021. Disponível em: <https://www.secovi.com.br/downloads/pesquisas-e-indices/balancos-do-mercado/2016/arquivos/anuario-do-mercado-imobiliario-2015-v2pdf.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

UN Global Compact. **Para especialista, mudanças climáticas podem fazer confinamento virar regra**: Rede Brasil recebeu o cientista Carlos Nobre para discutir as relações e aprendizados da pandemia para o clima. Pacto Global Rede Brasil. 2020. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/noticia/433>. Acesso em: 25 mai. 2022.

VIANA, Shaiane Gomes; DUARTE, Denise. O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS ENVIDRAÇADOS FRENTE À MUDANÇA DO CLIMA. In: **Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais. Palmas(TO) online, p. 2082-2087, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340666-O-DESEMPENHO-TERMICO-D E-EDIFICIOS-RESIDENCIAIS-ENVIDRACADOS-FRENTE-A-MUDANCA-DO-CLIMA> . Acesso em: 04 abr. 2022.

WEATHER Shift. [S. l.]. Disponível em: <https://www.weathershift.com/legal>. Acesso em: 11 out. 2022.