

---

# **Qualidade ambiental em edifícios residenciais em São Paulo**

## **Legislações, normas técnicas e a construção da cidade**

---



# **Qualidade ambiental em edifícios residenciais em São Paulo**

## **Legislações, normas técnicas e a construção da cidade**

**ERICA SAORI ACAMINE**

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

Trabalho Final de Graduação  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da  
Universidade de São Paulo - FAUUSP

Dezembro de 2020

## Agradecimentos

---

Dedico meus sinceros agradecimentos à instituição FAUUSP e a todo seu corpo docente e de funcionários que possibilitaram a minha formação durante esse trajeto.

Aos meus amigos da faculdade que estiveram presentes durante toda essa jornada de muito trabalho e aprendizado.

Aos meus familiares que possibilitaram a minha permanência no curso e me deram todo suporte necessário.

À minha orientadora Denise que sempre foi solícita e me guiou neste trabalho com muitos ensinamentos.

À minha equipe de trabalho e à Harmonia por incentivar e dar suporte às pesquisas relacionadas a conforto ambiental, campo de atuação da empresa.

# Sumário

---

1. Introdução	6
<b>Parte I: Investigações</b>	
2. Produção de habitação no mercado e contexto	8
3. A inserção do edifício no meio urbano e as legislações urbanísticas	10
4. O projeto e os sistemas construtivos nas edificações residenciais	19
<b>Parte II: Estudo de caso</b>	
5. Unidade representativa analisada	25
6. Desempenho e Conforto Térmico	26
7. Desempenho e Conforto Luminoso	39
8. Desempenho e Conforto Acústico	44
9. Considerações finais	57
10. Bibliografia	58

# 1. Introdução

A construção das edificações residenciais em São Paulo é regulamentada por legislações urbanísticas e edilícias bem como pelas normas técnicas. Atualmente os principais reguladores são o Plano Diretor Estratégico (2014), a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (2016), o Código de Obras e Edificações (2017) e as Normas Técnicas Brasileiras, dentre elas, a Norma de Desempenho NBR 15575 (2013).

Considerando que a produção de habitação na escala de mercado demanda uma padronização dos processos construtivos e que a concepção e aprovação do projeto está atrelada a um estudo de viabilidade que visa maximização dos lucros, as legislações e normas técnicas têm importante papel regulatório na construção civil para garantia da qualidade ambiental nos edifícios.

As legislações urbanísticas e edilícias acabam por regulamentar a implantação e a morfologia urbana, controlando a densidade construtiva e demográfica, além de definir recuos e afastamentos mínimos obrigatórios e alturas máximas para as edificações. Essas estratégias políticas urbanas refletem na morfologia da cidade e, conseqüentemente, em questões atreladas ao conforto ambiental dentro e fora dos edifícios, tais como iluminação e ventilação natural.

Por sua vez, a norma de desempenho em habitações acaba por definir critérios de desempenho mínimos obrigatórios para iluminação, térmica e acústica para as unidades habitacionais. O texto normativo é o único a abordar indicadores ambientais qualitativos e quantitativos de desempenho e por isso é referência importante no mercado da construção civil de habitação.

Por mais que existam estes mecanismos regulatórios para construção edilícia da cidade, os parâmetros relacionados ao conforto ambiental e eficiência energética de edifícios ainda estão aquém se comparados aos parâmetros utilizados em outros países. Para agravar o quadro, as políticas construtivas não consideram o contexto atual das mudanças climáticas, estruturando uma cidade com habitações que não estão preparadas para o aumento da temperatura global tendo em vista a vida útil dos edifícios.

Diante deste contexto, o trabalho consiste em uma pesquisa que tem como objetivo investigar a qualidade ambiental avaliando aspectos térmicos, luminosos e acústicos das edificações residenciais multifamiliares construídas atualmente em São Paulo, considerando as legislações e normas técnicas vigentes que moldam a construção da cidade e do meio urbano onde estão inseridas.

# parte I:

## investigações

## 2. Produção de habitação no mercado e contexto

A produção de habitação na escala e padrões do mercado imobiliário se por um lado apresenta enorme potencial para desafogar a demanda por moradia, por outro está atrelada a interesses econômicos que podem por consequência afetar a qualidade construtiva e a qualidade ambiental do edifício.

Em busca da diminuição dos custos com os sistemas construtivos e maximização dos lucros, ao mesmo tempo em que a perpetuação de um padrão construtivo enraizado na indústria civil é mantida, o mercado da construção civil tende a comprometer a qualidade ambiental das habitações. Em habitações de interesse social, esse cenário se agrava uma vez que os custos da construção precisam ser reduzidos para viabilizar o empreendimento no mercado. Dessa forma, a garantia às condições de conforto fica cada vez mais dependente dos instrumentos regulatórios legais e normativos.

As três principais leis urbanísticas e edilícias que regulam a construção de edificações residenciais em São Paulo são: o Plano Diretor Estratégico (2014), que orienta o crescimento e o desenvolvimento urbano de todo o município; a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (2016), que trata das regras para a construção, utilização e ocupação dos lotes da cidade; e o Código de Obras e Edificações (2017), que licencia as atividades edilícias e estabelece normas complementares específicas para edificações.

As normas técnicas por sua vez, não têm força de lei, mas têm caráter obrigatório devido ao Código de Defesa do Consumidor, que estabelece que qualquer produto colocado no mercado deve estar em conformidade com norma técnica específica. A norma que exerce importante papel regulamentador na qualidade ambiental em edificações residenciais é a norma de desempenho NBR 15575 (2013). A norma tem como finalidade transformar requisitos do usuário em requisitos quantitativos, estabelecendo desempenhos mínimos obrigatórios para componentes, elementos, sistemas e processos.

Por esses instrumentos possuírem um importante papel na inserção do edifício na malha urbana e na escolha de seus elementos construtivos é que as diretrizes e requisitos estabelecidos nas legislações e nas normas técnicas devem ser constantemente revistos e aprimorados de forma gradual de acordo com as necessidades atuais e mudanças da cidade.

## Mudanças climáticas e consumo de energia

O aumento das temperaturas devido às mudanças climáticas em escala global é uma questão apontada por cientistas há décadas e já é visível no cenário atual. O 5º relatório publicado em 2014 pelo IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, apontava um aumento de 2,6 a 4,8 °C até o final deste século em relação à temperatura pré-industrial nas projeções mais pessimistas, casos em que o aumento da concentração de gases do efeito estufa não é controlado.

As mudanças climáticas, no entanto, não são previstas pelas políticas públicas urbanísticas atuais. Isso acarreta na produção de edifícios que não estão preparados para esse aumento de temperatura, o que gerará, por consequência, uma demanda maior por sistemas ativos de refrigeração e um aumento da demanda energética da cidade no futuro.

Moradores com menos condições econômicas que habitam moradias de baixa eficiência energética serão provavelmente os mais impactados nesse cenário, visto que a instalação e a manutenção desses sistemas de refrigeração podem não ser acessíveis do ponto de vista financeiro.

Além do aumento da demanda pelo consumo de energia, o uso de condicionamento ativo pode causar outros impactos ao meio ambiente, como o incremento na carga térmica externa do edifício.

Assim, como considerado por Tsuda (2019), o fato do ciclo de vida de um edifício girar em torno dos 40 anos, podendo se estender por muito mais tempo, já é motivo suficiente para a preocupação com o desempenho energético do edifício, uma vez que a cidade cresce cada vez mais e consome cada vez mais recursos. Por isso, considerar e estabelecer parâmetros mais rígidos que visam o conforto térmico deve ser tratado como interesse público e não só da comunidade científica.

### 3. A inserção do edifício no meio urbano e as legislações urbanísticas

As legislações urbanísticas são mecanismos de controle do crescimento e desenvolvimento da cidade. Elas estabelecem diretrizes para a ocupação do solo através do controle da densidade construtiva e de instrumentos que incentivam o adensamento populacional em determinados eixos da cidade. A inserção dos edifícios na malha urbana é, então, regulada por estes mecanismos, capazes de interferir na qualidade ambiental dos espaços públicos e dos ambientes internos aos edifícios.

O Plano Diretor Estratégico (PDE) em conjunto com a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) são as principais leis urbanísticas de São Paulo. Orientadores da densidade construtiva e demográfica no território, definem a taxa de ocupação (TO), o coeficiente de aproveitamento (CA), recuos e afastamentos obrigatórios para cada zona da cidade de acordo com as diretrizes estabelecidas.

Cheng (2010) sugere que urbanistas estudem as diferentes combinações de CA e TO na malha urbana pois para um mesmo índice existem várias morfologias possíveis, como mostrado em figura 1.

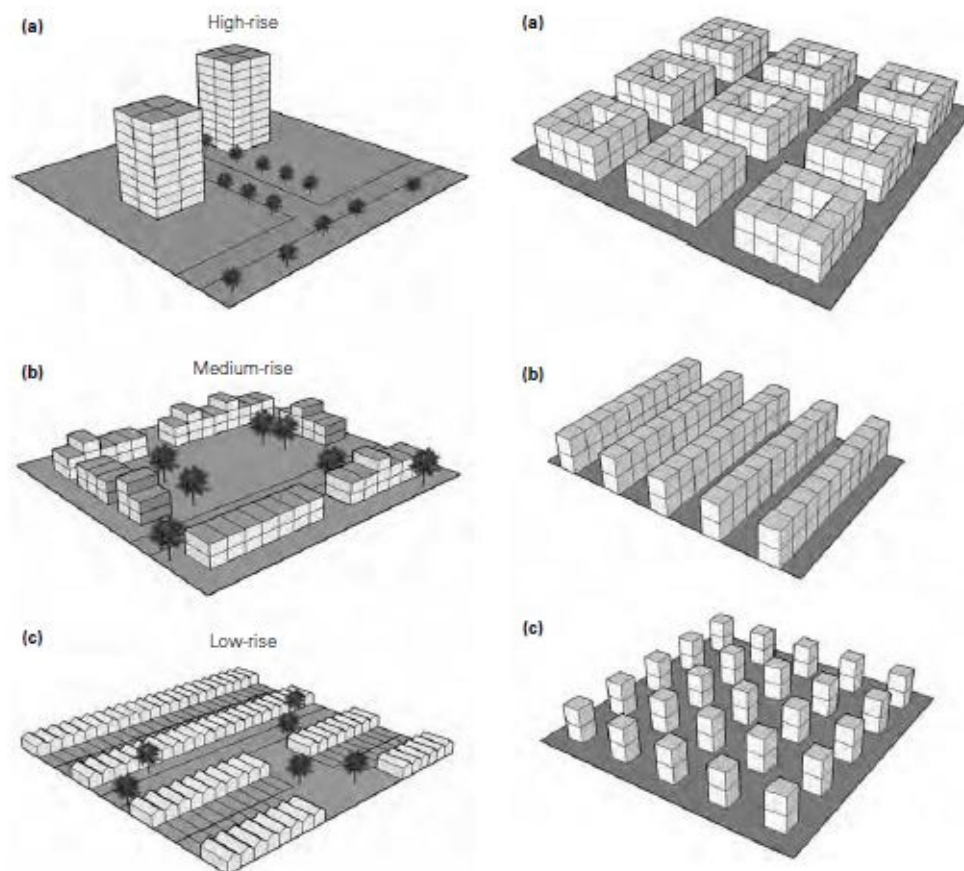


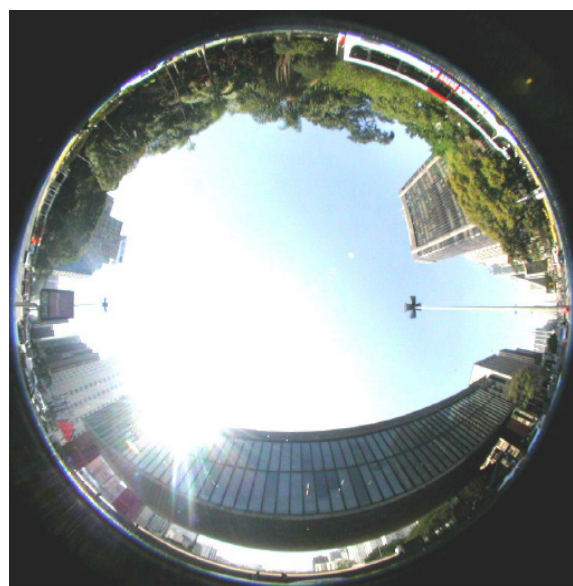
Figura 01: Imagem a esquerda - mesma densidade para diferentes layouts: (a) torres multipavimentos, (b) edifícios de média altura ao redor de um pátio central, (c) fileiras paralelas de casas de um pavimento. Imagem a direita - três morfologias urbanas diferentes: (a) pátio, (b) blocos paralelos, (c) torres. Fonte: CHENG, 2010.

Essa relação entre densidade e morfologia urbana será orientadora primordial para a inserção do edifício no meio urbano. A implantação dos edifícios, por sua vez, influenciará no acesso ao sol dos ambientes internos e dos passeios urbanos, no balanço de energia da cidade e na ventilação natural em escala urbana e do edifício. Por isso, é importante que as políticas públicas, as decisões de projetos urbanos e projetos de edifícios sejam orientadas por esses critérios de desempenho ambiental.

## > Iluminação natural

Além de ter papel importante no controle biológico e no conforto físico do corpo humano, a disponibilidade de iluminação natural dentro dos edifícios pode significar uma melhoria da eficiência energética ao dispensar o uso da iluminação artificial durante o período diurno.

A disponibilidade de luz natural depende da sazonalidade, clima, qualidade do ar e características do entorno. Essas características do entorno, relacionadas à forma urbana, definirão o fator de visão do céu de determinado ponto no edifício. Quanto maior for esse fator, maior a incidência da radiação solar no ambiente durante o dia.



*Figura 02: Vistas do fator de visão do céu na região central de São Paulo. A primeira situada em um canyon urbano e a segunda em frente a um parque urbano. Fonte: Disciplina do departamento de tecnologia da FAUUSP.*

## > Ventilação natural

A ventilação na escala urbana é um fator primordial para o conforto térmico em dias de altas temperaturas em ambientes externos e internos por ser um dos principais responsáveis pela remoção da carga térmica. No estudo de NG (2010), o comportamento dos ventos é estudado a partir de diferentes configurações de implantação dos edifícios como mostram as figuras seguintes.



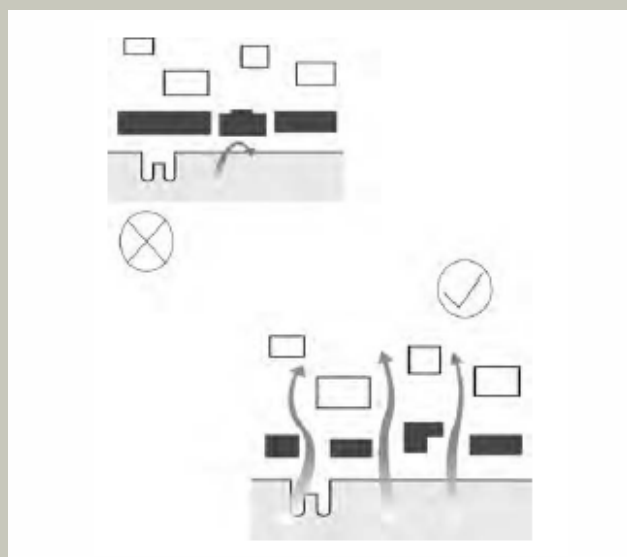


Figura 06: Comportamento dos ventos em quadras com edifícios frontais sem e com espaçamentos.  
Fonte: NG, 2010.

Figura 07: Comportamento dos ventos no embasamento com a fachada alinhada e escalonada. Fonte: NG, 2010.

Figura 08: Comportamento dos ventos em arranjos urbanos com edifícios de diferentes alturas. Fonte: NG, 2010.

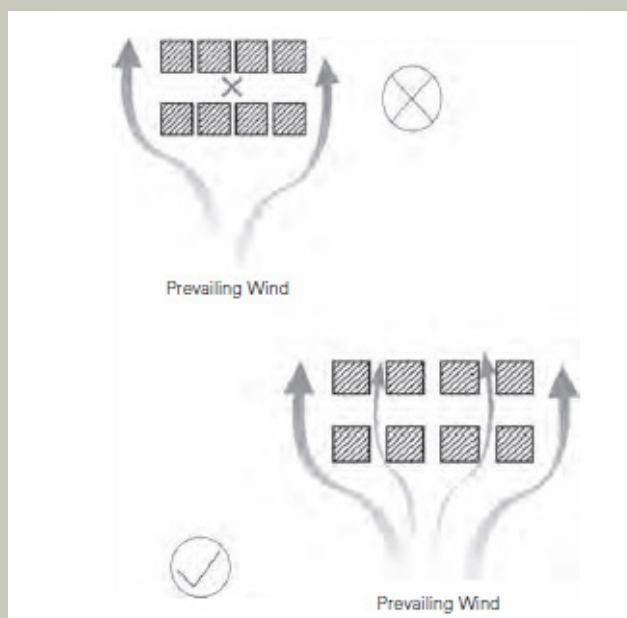
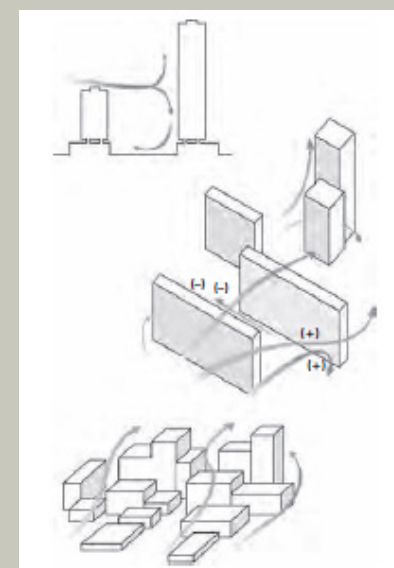
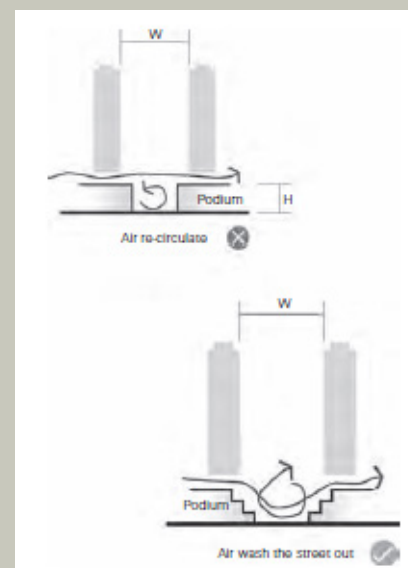


Figura 09: Comportamento dos ventos sem e com recuos entre edifícios. Fonte: NG, 2010.

> **Acústica urbana**

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o ruído urbano é o segundo maior agente poluidor ambiental nas grandes cidades, atrás somente da emissão de gases emitidos por veículos e fábricas. A poluição sonora urbana é proveniente de tráfego urbano, obras, estabelecimentos e atividades locais e é um dos grandes causadores de incomodidade acústica para os moradores de grandes cidades como São Paulo.

A exposição a níveis de pressão sonora elevados pode acarretar diversos problemas físicos, fisiológicos e psicológicos que vão desde irritabilidade e diminuição da capacidade de concentração até perdas auditivas e problemas cardiovasculares. Por isso, a poluição sonora deve ser tratada como problema de saúde pública.

O gerenciamento e controle de ruído é tratado sob âmbito nacional pela resolução nº 1 do CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, que tem como objetivo propor diretrizes políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado. A resolução remete às normas brasileiras ABNT NBR 10151/2019, que estabelece limites de níveis de pressão sonora em áreas habitadas, e ABNT NBR 10152/2017, que fornece valores de referência para ambientes internos. A seguir estão apresentadas as tabelas das respectivas normas.

Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período		
Tipos de áreas habitadas	RLAeq Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Áreas de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60
Nota. Para aplicação desta Norma, entende-se por área mista aquelas ocupadas por dois ou mais tipos de uso, sejam eles residencial, comercial, de lazer, de turismo, industrial e outros.		

Tabela 01: NBR 10151/2019

Valores de referência para ambientes internos de uma edificação tipo residencial			
Finalidade de uso	Valores de referência		
	RLAeq (dB)	RLA <sub>Smax</sub> (dB)	RL <sub>NC</sub> (dB)
Dormitórios	35	40	30
Salas de estar	40	45	35
Salas de cinema em casa (home theaters)	40	45	35
Nota. O valor de RLAeq para dormitório é compatível com a faixa estabelecida na ABNT NBR 10152:1987 e também para a condição de LAeq de até 65 dB em áreas externas urbanas para o período diurno e 55 dB para o período noturno, estabelecida na ABNT NBR 10151:2000, considerado o desempenho mínimo previsto pela ABNT NBR 15575-4:2013 de 25 dB para isolamento de fachada em regiões Classe II.			

Tabela 02: NBR 10152/2017

Sob o âmbito municipal, o controle do ruído urbano é tratado pela regulamentação dos níveis de incomodidade presentes na Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, que determina um Nível Critério de Avaliação (NCA) para cada tipo de zona (tabela 03). A lei proíbe a emissão de ruídos produzidos por quaisquer meios ou por quaisquer espécies, com níveis superiores aos determinados pela legislação federal, estadual ou municipal, prevalecendo a mais restritiva.

Apesar da lei municipal apresentar níveis limites compatíveis com o tipo de uso em comparação com a norma técnica, o sistema de controle de ruído proposto por meio da demarcação de quadras de acordo com o zoneamento pode apresentar algumas falhas. Isso porque o ruído produzido em uma região está fortemente relacionado às características e atividades predominantes da rua especificamente, então as fachadas de duas quadras que possuem uma rua em comum deveriam ideologicamente apresentar a mesma limitação.

Outra instância que é possível citar é a Organização Mundial da Saúde, que estabeleceu diretrizes para o ruído ambiental (OMS, 1999) com níveis máximos de ruído para evitar efeitos negativos na saúde da população de acordo com cada ambiente e tipo de uso. Segundo documento, os níveis não devem exceder a 35 dB para o período diurno em ambientes internos de residências e a 55 dB e 50 dB nos ambientes de varanda, terraços e espaços externos para que não haja irritabilidade grave e moderada. Para o período noturno em dormitórios, os níveis não devem exceder a LAeq 30 dB, para ruídos contínuos, e LA<sub>max</sub> 45 dB, para ruídos eventuais únicos. Para isso, o nível externo a 1 m da fachada deverá ser menor ou igual a LAeq 45 dB e LA<sub>max</sub> 60 dB, considerando uma noite de sono com a janela aberta.

	Tipo de zona	Zona	Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambiente externo dB(A) (c) (d) (f)			Vibração associada	Emissão de radiação Faixa de frequência (0Hz à 300GHz)	Emissão de odores	Emissão de gases, vapores e material particulado (e)
			Emissão de ruído das 7h às 19h	Emissão de ruído das 19h às 22h	Emissão de ruído das 22h às 7h				
TRANSFORMAÇÃO	ZEU	ZEUa	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZEUPa							
		ZEU	60	55	50	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZEUP							(a)
	ZEM	ZEM							(a)
		ZEMP							(a)
QUALIFICAÇÃO	ZCs	ZCa	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZC	60	55	50	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZC-ZEIS							(a)
	ZCOR	ZCOR-1	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZCOR-2							
		ZCOR-3	55	50	45	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZCORa	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
	ZM	ZM	60	55	50	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZMa	50	45	40				
		ZMIS	60	55	50				
		ZMISa	50	45	40				
	ZEIS	ZEIS-1	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZEIS-2							
		ZEIS-3	55	50	45				
		ZEIS-4	50	45	40				
		ZEIS-5	55	50	45				
	ZDE	ZDE-1	60	55	50	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZDE-2	65	60	55				
	ZPI	ZPI-1	65	60	55	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZPI-2							
PRESERVAÇÃO	ZPR	ZPR	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
	ZER	ZER-1	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZER-2							
		ZERa							
	ZPDS	ZPDS	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)
		ZPDSr							(a)
	ZEPAM	ZEPAM	50	45	40	(a)	(b)	(a)	(a)

- Notas:**
- (a) Aplicam-se a legislação pertinente e as normas técnicas brasileiras – ABNT em vigor.
- (b) Aplicam-se a legislação pertinente e as normas técnicas em vigor, sendo que o Executivo poderá estabelecer parâmetros mais restritivos de radiação eletromagnéticas não ionizantes.
- (c) No caso dos aeroportos aplica-se o nível de ruído conforme norma técnica específica.
- (d) Poderão incidir parâmetros especiais e mais restritivos nos termos §2º do artigo 113 desta lei.
- (e) Quando necessário a CETESB recomenda instalar e operar sistema de controle de poluição do ar baseado na melhor tecnologia.
- (f) Para atividade de local de culto, nos feriados, sábados a partir das 14h e nos domingos, os parâmetros relativos a ruídos referentes ao período das 7h às 19h passam a valer também para os períodos das 6h às 7h e das 19h às 22h, permanecendo inalterados os parâmetros referentes ao período das 7h às 19h e das 22h às 7h.

Tabela 03: Parâmetros de incomodidade por zona. Fonte: LPUOS, 2016.

Comparando as diretrizes da OMS com os limites de ruído ambiental apresentados pela LPUOS, é possível analisar que a lei municipal abre uma margem de tolerância considerável de 5 a 10 dB para zonas de estruturação da transformação urbana (ZEU) e metropolitana (ZEM), de centralidade (ZC), mista (ZM), de desenvolvimento econômico (ZDE) e de predominância industrial (ZDI). O problema dessa tolerância, a fim de conciliar as atividades urbanas mais ruidosas em detrimento das mais sensíveis como as residenciais, é que há previsão de adensamento populacional pelo próprio Plano Diretor em algumas dessas zonas, como nas ZEUs e ZEMs, aumentando o número de pessoas atingidas por essas incomodidades.

Outro grande desafio atual é controlar o ruído proveniente do tráfego urbano de veículos automotores e sistemas ferroviários, metroviários e aeroviários e de atividades específicas como feiras e comércio ambulante, agentes que contribuem fortemente para a poluição sonora nas cidades. Como não estão sob fiscalização do Programa Silêncio Urbano (PSIU), responsável apenas por fiscalizar estabelecimentos comerciais, indústrias, instituições de ensino, templos religiosos, festas noturnas, o controle de ruído das vias urbanas permaneceu indiferente.

Para a definição de medidas mais consistentes para o controle de ruído urbano, a elaboração de um Mapa de Ruído é imprescindível para o cruzamento dos dados de emissão sonora urbana com o tipo de uso do solo predominante e com o número de pessoas impactadas, a fim de se estabelecer um mapa de zoneamento acústico com diretrizes e planos de ação para as áreas mais sensíveis.

A construção do Mapa de Ruído Urbano da cidade de São Paulo ainda está em andamento com a publicação da Lei 16.499, em 2016, que estipula um prazo de sete anos para o desenvolvimento e implantação. A ProAcústica em parceria com empresas do setor privado teve a iniciativa na produção de um trecho do Mapa de Ruído com recorte na região central da cidade divulgado no portal do INAD SP em 2019 (fig.10 e 11).

Como exemplo do panorama dado anteriormente, o mapa de ruído mostra a via arterial Av. 9 de Julho na região central de São Paulo. As quadras ao redor são demarcadas como ZEU, zona com maior potencial de adensamento construtivo onde se incentiva o uso residencial perto dos meios de transporte para diminuir distâncias de deslocamento dos moradores, apresentando um NCA de 60 dB para o período diurno e 50 dB para o período noturno. O mapa de ruído, no entanto, mostra que os níveis atuais ultrapassam 70 dB e 60 dB para esses respectivos horários, indicando uma área em que deve haver uma tomada de ação com políticas públicas para diminuição da poluição sonora.

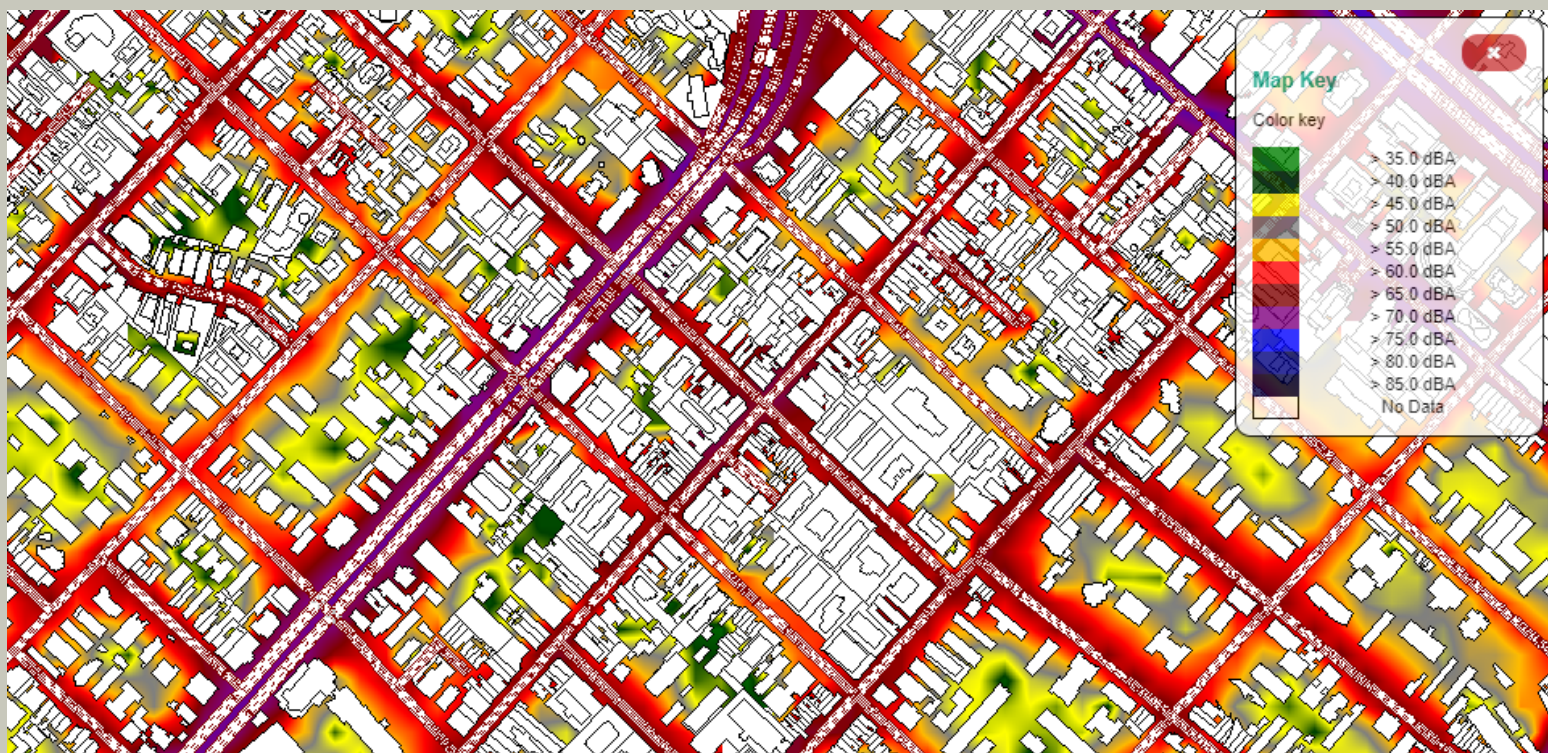


Figura 10: Mapa de Ruído Dia (Ld) de trecho da região central de São Paulo. Fonte: INAD SP, 2019.



Figura 11: Mapa de Ruído Noite (Ln) de trecho da região central de São Paulo. Fonte: INAD SP, 2019.

## 4. O projeto e os sistemas construtivos nas edificações residenciais

Decisões de projeto e de seus sistemas construtivos envolvidas no processo de concepção de um edifício estão estreitamente ligadas aos interesses do mercado da construção civil, como maximização dos lucros e padronização da produção para otimização de processos. A escolha desses fatores priorizando exclusivamente interesses de mercado podem confrontar com a qualidade ambiental nos edifícios e com os requisitos dos usuários.

Por isso, aspectos relacionados às atividades edilícias devem seguir a legislação municipal e normas técnicas competentes, que têm importante papel na regulamentação das edificações. Nesta pesquisa, destacaremos o Código de Obras e Edificações (2017) e a Norma de Desempenho para Habitações (2013).

### > Código de Obras e Edificações

O Código de Obras e Edificações (COE) é o instrumento que disciplina as regras gerais de licenciamento da atividade edilícia, bem como de fiscalização da execução, manutenção e utilização de obras e equipamentos em cada cidade, entrando como um complemento ao PDE e à LPUOS.

O COE de São Paulo recebeu uma atualização em 2017 com o objetivo de simplificar, desburocratizar e agilizar o processo de licenciamento das edificações na cidade. Com isso, as exigências técnicas tornaram-se mais enxutas e a responsabilidade dos detalhes internos das edificações, manutenção da estabilidade, segurança e salubridade, bem como a conformidade com as normas técnicas e legislações aplicáveis, ficaram a critério do proprietário e do autor do projeto, que agora possuem responsabilidades explícitas, segundo próprio texto.

O texto estabelece diretrizes de implantação complementares às disposições do PDE e da LPUOS para garantir condições de aeração e insolação. Estes podem ser proporcionados pelos recuos obrigatórios previstos na LPUOS, espaço do logradouro, afastamento lateral e de fundo e área livre descoberta interna ao lote, para os quais as aberturas devem estar voltadas. São, então, estabelecidos afastamentos e dimensões mínimas para cada situação.

$$A = (H-6)/10$$

A = afastamento lateral e de fundo

H = altura da edificação em metros

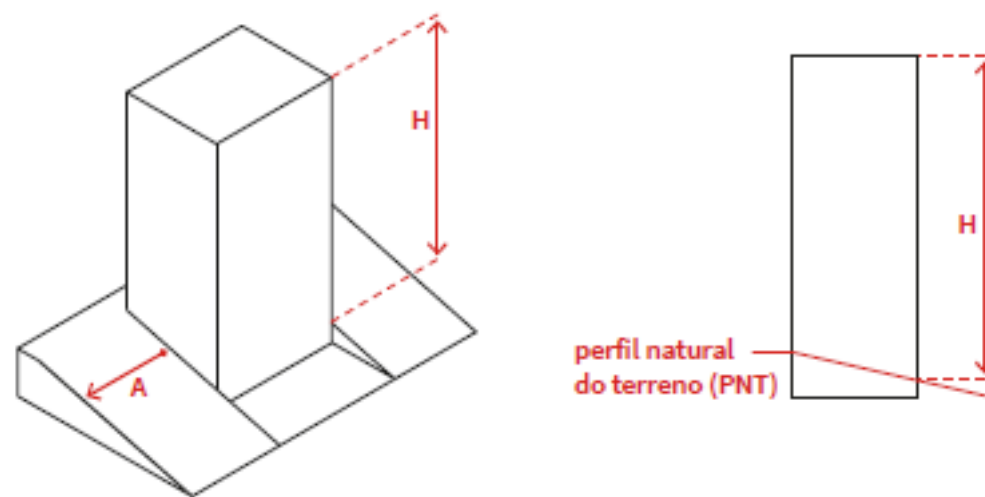


Figura 12: Afastamento lateral e de fundo mínimos para edificações a partir de 10m. Fonte: COE ilustrado de São Paulo, 2017.

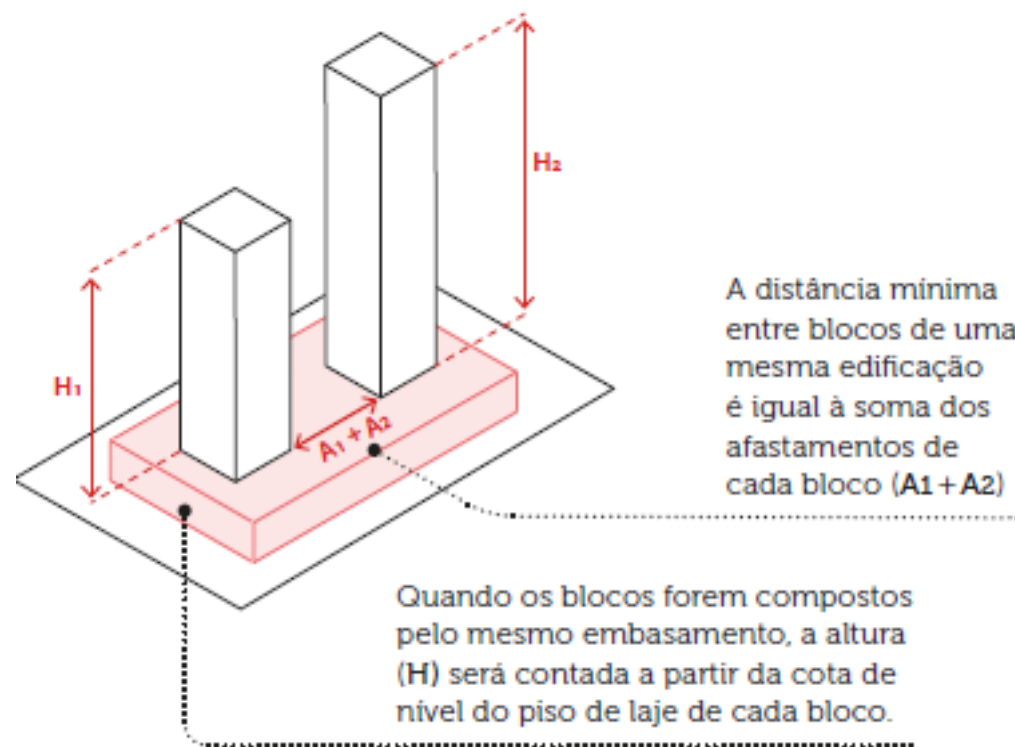


Figura 13: Afastamento entre blocos de uma mesma edificação. Fonte: COE ilustrado de São Paulo, 2017.

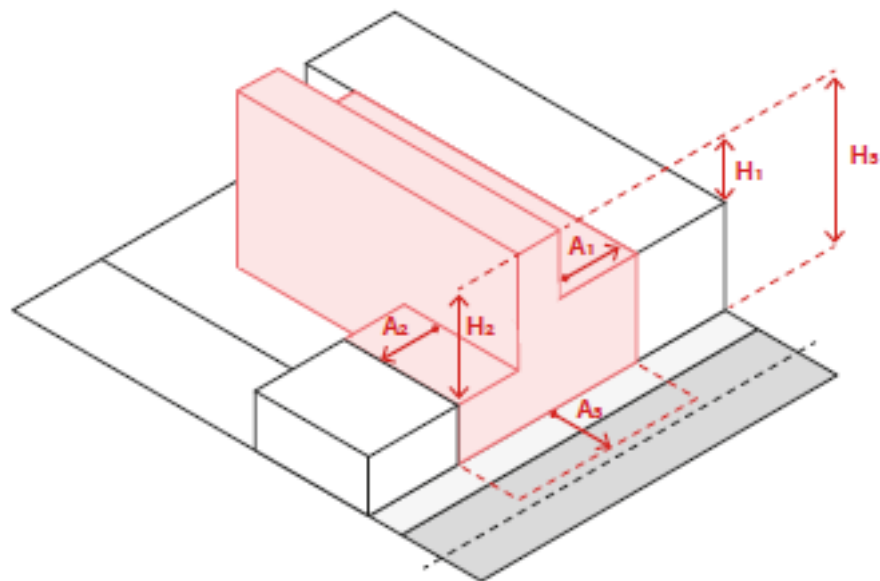


Figura 14: Afastamento de edificações sem recuo. Admite-se a justaposição no trecho em que a altura da edificação nova for menor ou igual à altura da edificação existente. Quando a altura for ultrapassada, deverá ser previsto os devidos afastamentos.

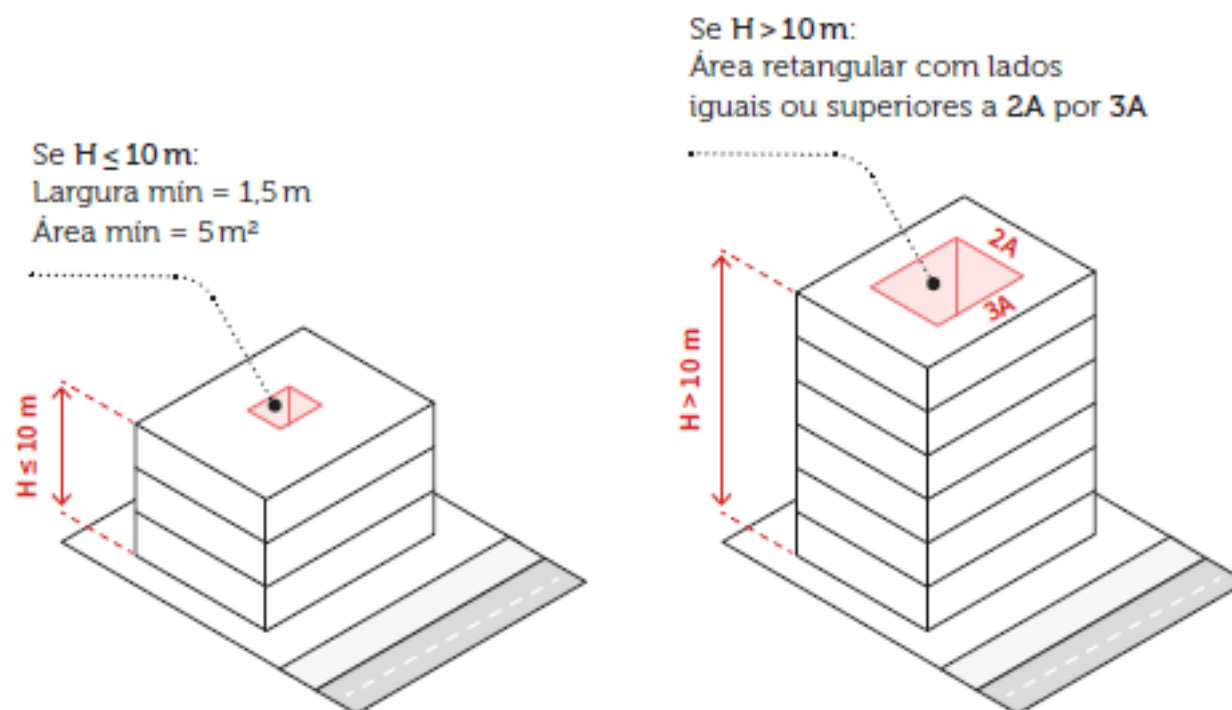


Figura 15: Dimensionamento mínimo para área livre interna. Fonte: COE ilustrado de São Paulo, 2017.

O COE também estabelece dimensões mínimas para os compartimentos para habitações conforme tabela 4.

Dimensionamento mínimo				
Uso da edificação	Compartimentos	Pé direito	Área (m²)	Conter círculo (Diâmetro/ m)
Habitação	Repouso	2,50	5,00	2,00
	Estar	2,50	5,00	2,00
	Estudo	2,50	5,00	2,00
Nota. As habitações deverão conter, no mínimo, espaços destinados a estar, repouso, instalação sanitária e cozinha.				

Tabela 04: COE de São Paulo, 2017.

O texto dispõe que as posições e dimensionamentos dos compartimentos devem proporcionar conforto ambiental, térmico e acústico. No entanto, não menciona parâmetros de conforto ou faz referência às normas técnicas pertinentes, como a norma de desempenho para habitações.

## > NBR 15575/ 2013

A norma técnica brasileira NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho, revisada em 2013, é a principal norma técnica para as edificações habitacionais, com o objetivo de traduzir as exigências dos usuários em requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos e premissas) e definir métodos de avaliação.

O texto normativo prescreve a verificação da adequação dos sistemas ao tipo de uso, mas não seus sistemas ou processos construtivos, permitindo a inovação das tecnologias empregadas e o espaço de flexibilidade para as decisões de projeto e processos construtivos. Dessa forma, segundo o próprio texto, a norma incentiva e baliza o desenvolvimento tecnológico e orienta a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas.

No que se refere à qualidade ambiental, a norma define critérios para desempenho térmico, lumínico e acústico a fim de atender aos requisitos dos usuários. Ela representou um grande avanço para a melhoria da salubridade e de desempenho ambiental nas edificações residenciais, especialmente nas habitações de interesse social.

Em relação ao COE de São Paulo, a norma de desempenho trata e desenvolve com maior profundidade questões ambientais e critérios para garantir qualidade ambiental dentro dos edifícios. Por isso, é o principal documento utilizado para medir a qualidade ambiental na concepção de edifícios habitacionais.

No estudo de caso dessa pesquisa a norma de desempenho será utilizada como orientadora da avaliação das questões térmicas, luminosas e acústicas de uma unidade habitacional representativa produzida nos padrões do mercado imobiliário. Esse estudo objetiva a investigação da qualidade ambiental das habitações produzidas em São Paulo com base nas exigências mínimas obrigatórias normativas e legislativas.

# parte II:

## estudo de caso

## 5. Unidade representativa analisada

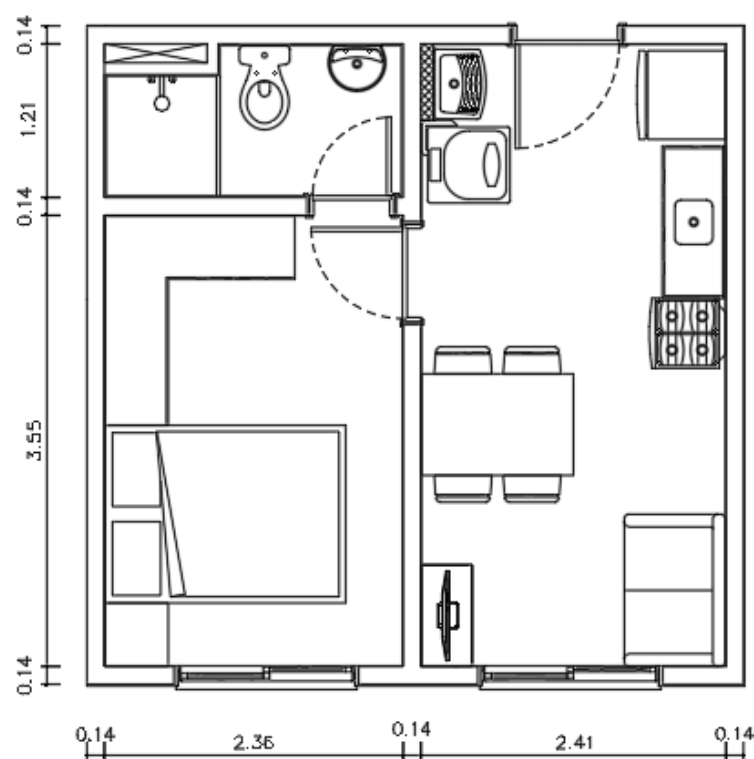


Figura 16: Planta da unidade habitacional analisada.

Para este trabalho foi analisada uma unidade representativa de 23 m<sup>2</sup> de área útil, com 1 suíte e uma sala integrada com cozinha, sem presença de varandas. Essa planta possui características usualmente encontradas nos empreendimentos com unidades de habitação de interesse social: ambientes principais com formatos alongados, dispondo de uma única área de fachada, para viabilizar maior número de unidades dispostas lado a lado, como visualizado na planta tipo da edificação.

Foi considerado como sistema construtivo: paredes em blocos de concreto estrutural de espessura 14 cm com revestimento externo em massa de cor clara e revestimento interno em gesso; laje de concreto de altura 10 cm com contrapiso de espessura 4 cm; esquadrias de alumínio com duas folhas de correr com vidro comum de espessura 4 mm.

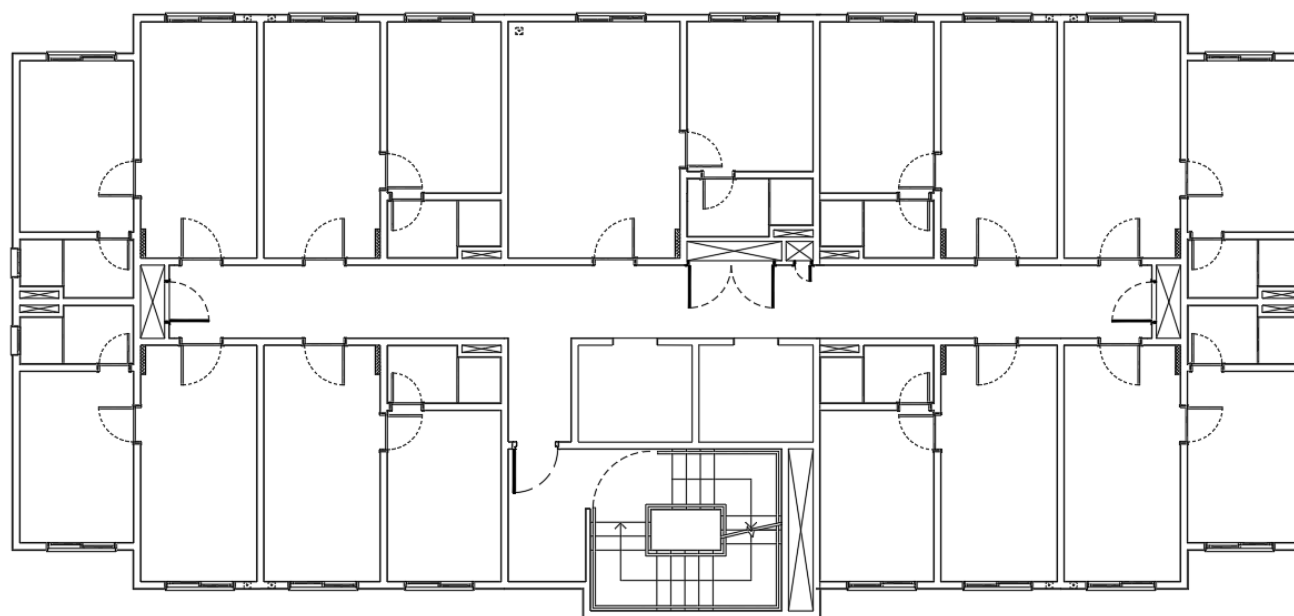


Figura 17: Planta do pavimento tipo da unidade analisada.

Foram feitas análises de desempenho térmico, luminoso e acústico conforme norma de desempenho NBR 15575/2013.

## 6. Desempenho e Conforto Térmico

O desempenho térmico da unidade foi calculado e avaliado conforme norma técnica de desempenho ABNT-NBR 15575:2013, partes 1, 4 e 5, utilizando os procedimentos simplificado e de simulação.

### > Procedimento simplificado

Procedimento 1 - Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional. (NBR 15575, 2013)

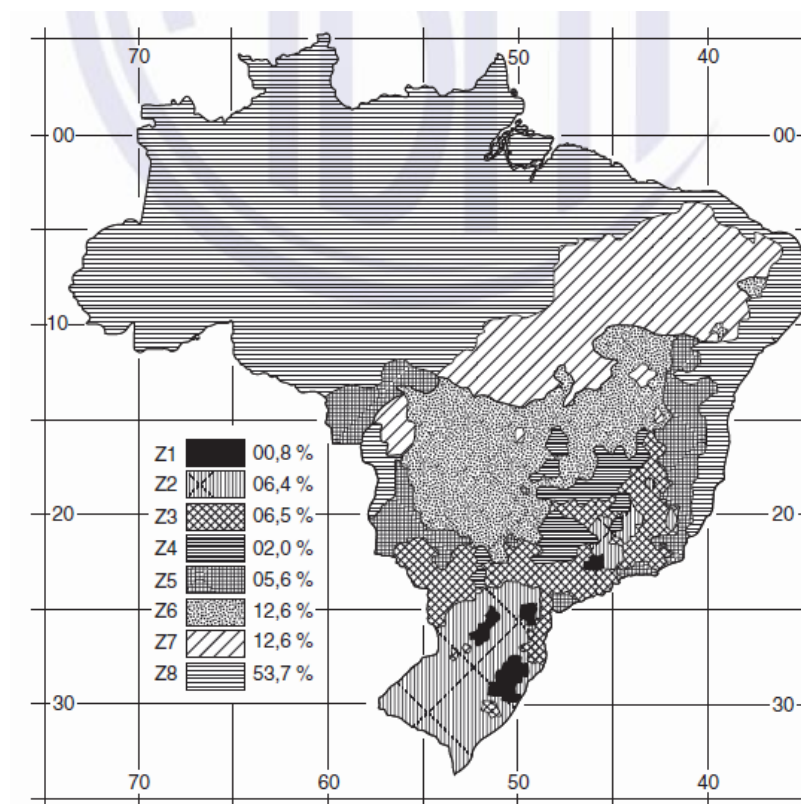


Figura 18: Mapa das zonas bioclimáticas brasileiras (NBR 15575, 2013)

O método simplificado consiste na verificação da transmitância térmica (U) e da capacidade térmica (CT) do sistema construtivo em questão. Esse método, no entanto, tem sido questionado porque as unidades que atendem ao critério normativo podem não atender ao desempenho em simulação (MARQUES; CHVATAL, 2013).

Para cada requisito térmico, a norma define um desempenho de acordo com a zona bioclimática em que a unidade habitacional está inserida. A cidade de São Paulo, recorte deste trabalho, está inserida na zona bioclimática 3.

> Adequação de paredes externas

O sistema de paredes externas é validado pelo método simplificado através da verificação do atendimento aos valores mínimos para transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT). O procedimento de cálculo utilizado é prescrito na norma NBR 15220-2 (2005).

Transmitância Térmica U [W/m².K]		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	αª ≤ 0,6	αª > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
αª é a absorptância a radiação solar da superfície externa da parede		

Tabela 05: NBR 15575/2013.

Capacidade Térmica CT [kJ/m².K]	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Tabela 06: NBR 15575/2013.

Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (C) dos materiais			
Material	ρ (kg/m³)	λ (W/m.K)	C (kJ/(kg.K))
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
gesso projetado	1100-1300	0,5	0,84

Tabela 07: NBR 15220-2/2005.

Foi considerada para análise uma parede de bloco de concreto estrutural de 14 cm de espessura (14x19x39) com revestimento externo em massa de espessura 1,5 cm e revestimento interno em gesso liso de espessura 0,5 cm, composição comum nas edificações residenciais do tipo popular. Conforme cálculos abaixo obteve-se:

$R_t \text{ bloco} = 0,1652 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$   
 $R_t \text{ parede} = 0,1788 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$   
 $R_T = 0,3488 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$   
 **$U = 2,87 \text{ W}/\text{m}^2.\text{K}$**   
 **$CT = 181 \text{ kJ}/\text{m}^2.\text{K}$**

Como  $U = 2,87 \leq 3,7$  e  $CT=181 \geq 130$  é possível afirmar que a parede atende ao critério de transmitância térmica para vedações verticais externas

> **Aberturas para ventilação**

Os ambientes de longa permanência, salas e dormitórios, possuem requisito mínimo para área de aberturas para ventilação. Na zona bioclimática 3, as aberturas devem ter no mínimo 7% da área de piso.

Aberturas para ventilação (A)	
Zonas 1 a 7 aberturas médias	Zona 8 aberturas grandes
A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12% da área de piso - região norte do Brasil
	A ≥ 8% da área de piso - região nordeste e sudeste do Brasil
Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio	

Tabela 08: NBR 15575/2013.

Considerando que a esquadria mais comum no mercado imobiliário de habitação tem duas folhas de correr com dimensão mínima comum de 1,20 x 1,20 m, fez-se a análise de abertura para ventilação de acordo com essas configurações.

Aberturas para ventilação (A)		
	Dormitório	Sala
Área de piso (m²)	8,38	11,81
Área mínima de abertura (m²)	0,59	0,83
Dimensão do caixilho (m²)	1,20 x 1,20	1,20 x 1,20
Área do caixilho (m²)	1,44	1,44
Área de ventilação com desconto (%)	45*	45*
Vão efetivo estimado (m²)	0,65	0,65
*Valor estimado de área de ventilação para esquadrias com duas folhas de correr.		

Tabela 09: Análise das aberturas mínimas para cada ambiente.

A esquadria analisada atende ao requisito mínimo de abertura para ventilação no dormitório mas não atende para a sala. No caso analisado, para utilização do mesmo tipo de esquadria, seria necessário adotar um vão com aproximadamente 1,20m x 1,55m no ambiente da sala. No entanto, é possível também aumentar a área de ventilação substituindo o tipo de esquadria.

> Isolação térmica da cobertura

O sistema de cobertura é validado pelo método simplificado através da verificação do atendimento aos valores mínimos para transmitância térmica (U). O procedimento de cálculo utilizado é prescrito na norma NBR 15220-2 (2005).

Transmitância térmica (U) [W/m².K]					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	
$U \leq 2,3$	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV	Mínimo
$U \leq 1,5$	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5$ FV	$U \leq 1,0$ FV	Intermediário
$U \leq 1,0$	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0$ FV	$U \leq 0,5$ FV	Superior

Tabela 10: NBR 15575/2013.

Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico (C) dos materiais			
Material	$\rho$ (kg/m³)	$\lambda$ (W/m.K)	C (kJ/(kg.K))
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
contrapiso de concreto	1600-1800	1,05	1,00
asfalto	1600	0,43	0,92

Tabela 11: NBR 15220-2/2005.

Foi considerada uma laje de concreto de espessura 12 cm, regularização de 2 cm, impermeabilização com cimento polimérico de 0,3 cm e proteção mecânica de 2 cm.

No verão

$R_T = 0,333643 \text{ m}^2.K/W$

$U = 3,0 \text{ W/m}^2.K$

No inverno

$R_T = 0,253643 \text{ m}^2.K/W$

$U = 3,94 \text{ W/m}^2.K$

Como  $U = 3,0$  no verão e  $U=3,94$  no inverno e são maiores que 2,3 é possível afirmar que a composição da laje não atende ao critério de transmitância térmica para coberturas, sendo necessário avaliar o desempenho pelo método de simulação computacional.

> **Simulação computacional para desempenho térmico**

O método da análise térmica por meio da simulação computacional mostra-se mais completo do que o método simplificado. Isso porque a simulação leva em consideração o volume, a geometria e a área de parede dos ambientes, a combinação dos sistemas de paredes, pisos e janelas em funcionamento, a orientação das fachadas, os dados climáticos da região de implantação, entre outras variáveis.

O software recomendado para a simulação pela norma é o Energy Plus ou outro capaz de permitir a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima. Para este trabalho, foi utilizado o software EDSL TAS.

Para a realização da simulação computacional, deve-se utilizar como referência as informações em anexo à norma de dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e inverno de acordo com a cidade analisada. Caso a cidade não esteja contemplada, recomenda-se utilizar os dados climáticos de uma cidade próxima com características semelhantes na mesma Zona Bio-climática brasileira.

São Paulo					
	Temperatura máxima/ mínima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m²)	Nebulosidade décimos
Dias típicos de verão	31,9	9,2	21,3	5180	6
Dias típicos de inverno	6,2	10,0	13,4	4418	6

Tabela 12: NBR 15575/2013.

A avaliação para edificações em fase de projeto deve ser feita para um dia típico de verão e de inverno em recintos de longa permanência, como salas e dormitórios, de unidades representativas. No caso de conjunto habitacional multipiso, a unidade representativa será aquela com maior número de paredes expostas e com a cobertura exposta. Caso a orientação da edificação não esteja definida, será necessário avaliar a condição mais crítica do ponto de vista térmico. No verão, a janela do ambiente analisado deverá estar voltada para o oeste e outra parede exposta voltada para o norte, no inverno, a janela voltada para o sul e a parede exposta voltada para o leste.

A norma também orienta que a simulação deve ser feita inicialmente com uma taxa de ventilação de 1 ren/h. Caso não atenda ao critério, a simulação deverá ser refeita adotando uma ventilação de 5 ren/h sem sombreamento nas janelas. Caso não atenda novamente, deverá ser inserida proteção solar externa ou interna à esquadria com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta nas situações de 1 ren/h ou 5 ren/h.

Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão		
Nível de desempenho	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
Intermediário	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$
$T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação ( $^{\circ}\text{C}$ ) $T_{e,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação ( $^{\circ}\text{C}$ )		

Tabela 13: NBR 15575/2013.

Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno		
Nível de desempenho	Zonas 1 a 5	Zona 6, 7 e 8
Mínimo	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 7^{\circ}\text{C})$	
Ti,mín é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação (°C)		
Te,mín é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação (°C)		

Tabela 14: NBR 15575/2013.

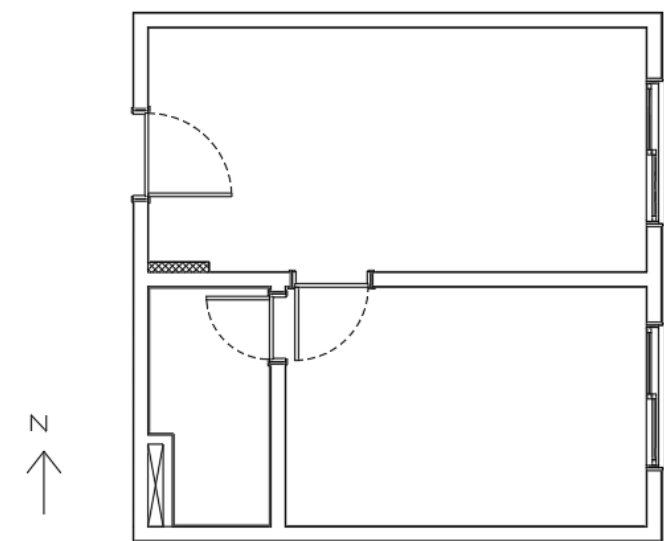
Para realizar a simulação, a norma recomenda a utilização do dia típico de verão e de inverno e informa dados climáticos para essas situações para algumas cidades brasileiras, como temperatura máxima para o verão, temperatura mínima para o inverno, amplitude diária de temperatura, temperatura de bulbo úmido, radiação solar e nebulosidade, como mostra a tabela 12.

No entanto, dados como data, velocidade, direção do vento e dados horários de radiação direta e difusa, necessários para a simulação computacional, não são apresentados ou referenciados na norma de desempenho. Esse fator acaba dando margem a uma variedade de possibilidades metodológicas aplicadas pelo profissional que simula a edificação, o que influencia diretamente os resultados de desempenho térmico.

Para este estudo, foram utilizados os dias de solstícios, 21/12 e 21/06, como dias típicos de verão e inverno respectivamente. Foram utilizados também os dados climáticos produzidos em pesquisa de Alves (2019) para a cidade de São Paulo no período de 2015-2044, considerando o microclima urbano. Esses dados horários climáticos foram calibrados de acordo com informações da tabela 12 para melhor representação dos dias típicos.

Na avaliação do desempenho térmico em simulação não são consideradas a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas outros equipamentos em geral) e obstruções externas. Essa condicionante representa um problema pois a inclusão da carga

térmica e o sombreamento ocasionado pelo entorno refletem em, respectivamente, aumento e diminuição das temperaturas internas dos ambientes, como mostram as análises em estudo de caso feito por Alves (2019). Neste estudo simplificado, no entanto, o entorno não será considerado.

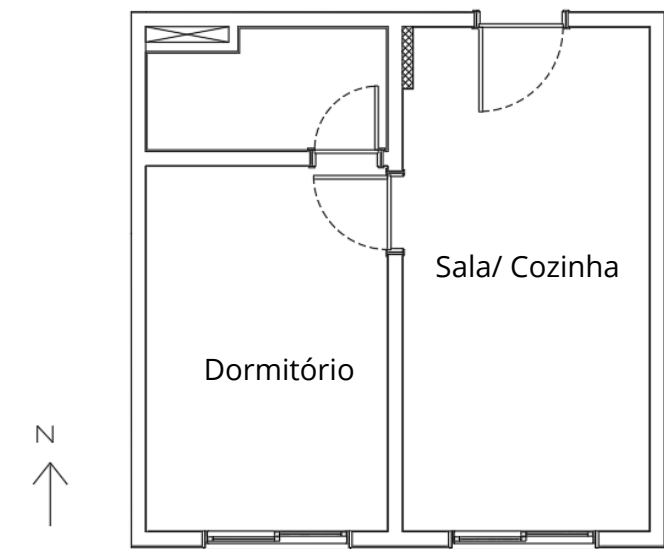


Verão:  $T_{i,máx} \leq 31,9^{\circ}\text{C}$

Verão		
Ambiente	$T_{i,máx}$ simulado	Atendimento ao desempenho
Dormitório	30,4 °C	Atende (Mínimo)
Sala/ Cozinha	30,6 °C	Atende (Mínimo)

Tabela 15: Desempenho térmico no pior cenário na época de verão.

Figura 19: Orientação da fachada no pior cenário na época de verão.



Inverno:  $T_{i,mín} \geq 9,2^{\circ}\text{C}$

Inverno		
Ambiente	$T_{i,mín}$ simulado	Atendimento ao desempenho
Dormitório	9,9 °C	Atende (Mínimo)
Sala/ Cozinha	9,6 °C	Atende (Mínimo)

Tabela 16: Desempenho térmico no pior cenário na época de inverno.

Figura 20: Orientação da fachada no pior cenário na época de inverno.

O dormitório e a sala integrada com a cozinha atenderam ao critério mínimo de desempenho para as situações de verão e inverno em simulação com uma taxa de ventilação de 1 ren/h. Portanto, não foi necessário refazer a simulação aumentando a taxa de ventilação para 5 ren/h ou utilizando dispositivos de sombreamento como indicado em norma.

## > Simulação computacional para conforto térmico

Segundo a ASHRAE, o conforto térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Para a análise de conforto térmico neste trabalho, foi utilizada a corrente adaptativa, que considera a tendência que as pessoas têm de adaptação em relação às condicionantes ambientais (NICOL, HUMPHREYS, 2002). Foi utilizada como referência a norma americana ASHRAE 55 (2013) para análise de conforto térmico.

Através de pesquisas e medições em campo no método adaptativo, foi constatado que o conforto do usuário está diretamente relacionado à temperatura externa do ambiente e não só a uma temperatura interna constante. Por isso, a ASHRAE55 estabelece indicadores através de zonas de conforto que variam de acordo com a temperatura operativa ( $T_o$ ) e com a temperatura do ar externo ( $T_e$ ). As zonas se dividem em uma que indica 90% de pessoas satisfeitas termicamente e outras duas que indicam uma porcentagem de 80%, conforme figura 21.

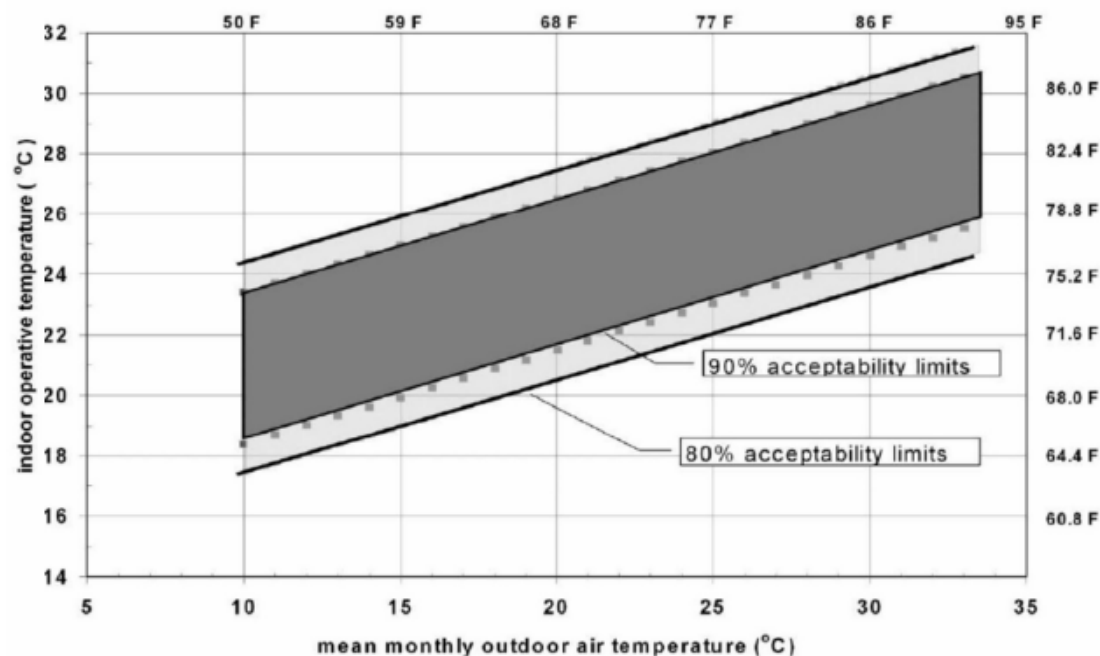


Figura 21: Modelo adaptativo da norma norte-americana ASHRAE 55 (2013). Fonte: ASHRAE, 2017.

O principal índice do conforto adaptativo é a temperatura operativa, resultante da temperatura do ar interno, da velocidade do ar e da temperatura radiante média. A  $T_o$  representa o ganho térmico da edificação acumulado devido à incidência da radiação solar mesmo quando a temperatura do ar diminui.

Para a avaliação do conforto térmico dos ambientes também foram utilizados os dados climáticos produzidos em pesquisa de Alves (2019) de São Paulo no período de 2015-2044, considerando o microclima urbano. Mas diferente da análise de desempenho, foram consideradas análises para todas as horas do dia dentro de um ano, fontes internas de ganho de energia como equipamentos e iluminação artificial e uma ocupação típica de 2 pessoas para esse tipo de apartamento.

Apartamento Base							Total			
Ambiente	Fonte	Horário	Potência (W)	Carga (W)	Área (m²)	W/m²		7h-19h	19h-23h	23h-7h
Sala/ Cozinha	2 LED	19h-23h	12	24	11,80	2,03	Iluminação Sensível	0	2,03	0
	1 Notebook	7h-19h	60	36*		3,05	Equipamento Sensível	10,17	7,12	2,54
	1 TV	7h-23h	90	54*		4,58				
	1 Geladeira	24h	120	30**		2,54				
	2 pessoas	7h-23h	-	126 (sens.)		10,68	Pessoa Sensível	10,68	10,68	0
				104 (lat.)		8,81	Pessoa Latente	8,81	8,81	0
Dormitório	2 pessoas	23h-7h	-	80 (sens.)	8,34	9,59	Pessoa Sensível	0	0	9,59
				80 (sens.)		9,59	Pessoa Latente	0	0	9,59
* Adoção do critério de que 60% da potência nominal dos aparelhos elétricos (exceto aqueles cuja função seja aquecimento) é cedida ao ambiente como calor (FROTA, SCHIFFER, 2003).										
** Por ter, a geladeira, uma função térmica, entende-se que 100% da potência do equipamento, quando ligado, é cedida como calor ao ambiente. Foi estimado que ela estaria ligada 25% do tempo e, por isso, foi considerado que, a cada hora, é esse o percentual da potência cedido como calor ao ambiente (HERNANDEZ NETO, 2018).										

Tabela 17: Tabela de cargas térmicas internas de Alves (2019) adaptada para este estudo de caso.

A taxa de ventilação foi configurada para o padrão de 1 ren/h e a fachada com janela foi simulada voltada para o oeste, como na norma de desempenho para a situação de verão. As janelas foram simuladas abertas no período entre 19h - 23h nos meses de primavera e verão como estratégia de remoção da carga térmica, já que a análise do conforto adaptativo prevê esse tipo de interferência.

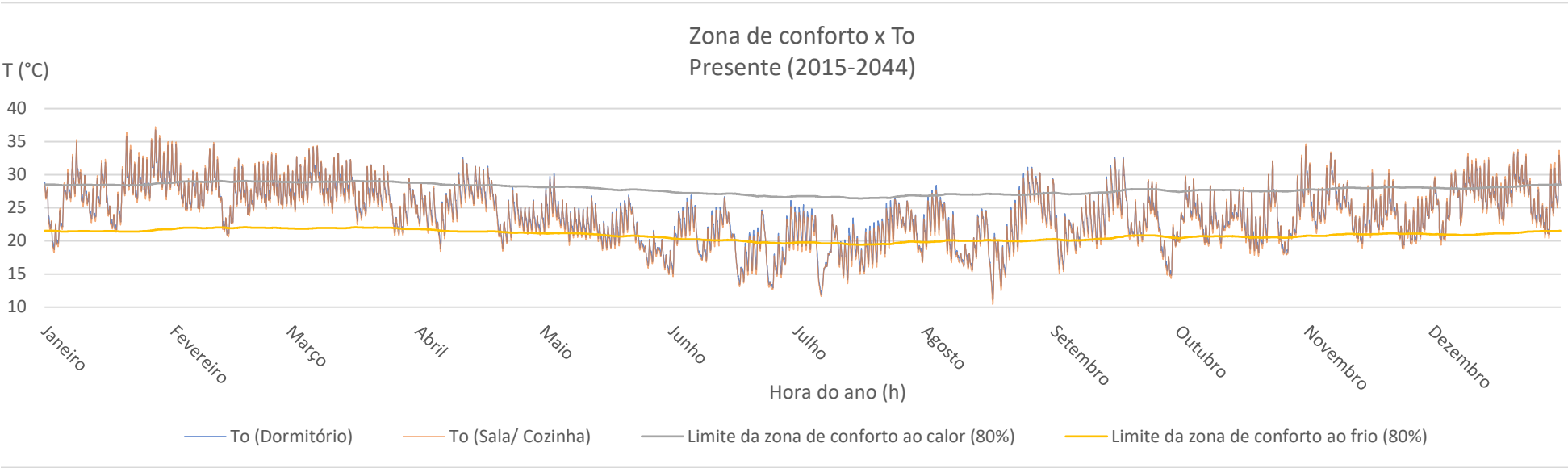


Figura 22: Gráfico do resultado anual com 8760 h de simulação computacional do dormitório e sala/ cozinha para o clima atual.

Horas de desconforto (80%)				
Ambiente	Horas de desconforto ao calor no ano	Horas de desconforto ao frio no ano	Total de horas de desconforto no ano	Horas de desconforto no ano
Dormitório	1.382	1.745	3.127	36%
Sala/ Cozinha	1.300	2.094	3.394	39%

Tabela 18: Horas de desconforto totais para 80% das pessoas e sua relação com o ano todo.

O gráfico e tabela acima foram construídos com base nos resultados apresentados em simulação computacional. É possível concluir que tanto o dormitório quanto a sala/ cozinha apresentam vários momentos ao longo do ano em que não proporcionam condições de conforto térmico para pelo menos 80% das pessoas, condição menos exigente de acordo com a figura 21.

A partir dessa análise, verifica-se que o dormitório fica 36% do ano em condições de desconforto e a sala/ cozinha, 39% do ano. Considerando o contexto das mudanças climáticas, que prevê constante aumento da temperatura ao longo dos anos, fez-se uma análise das horas de desconforto para as projeções futuras (fig. 23). O ambiente analisado foi o dormitório, que apresentou mais horas de desconforto ao calor.

A partir da tabela 19, nota-se que as horas de desconforto ao calor aumentam e as horas de desconforto ao frio diminuem a cada projeção futura. Mesmo com essa compensação, as horas totais de desconforto ainda continuam crescentes a cada período.

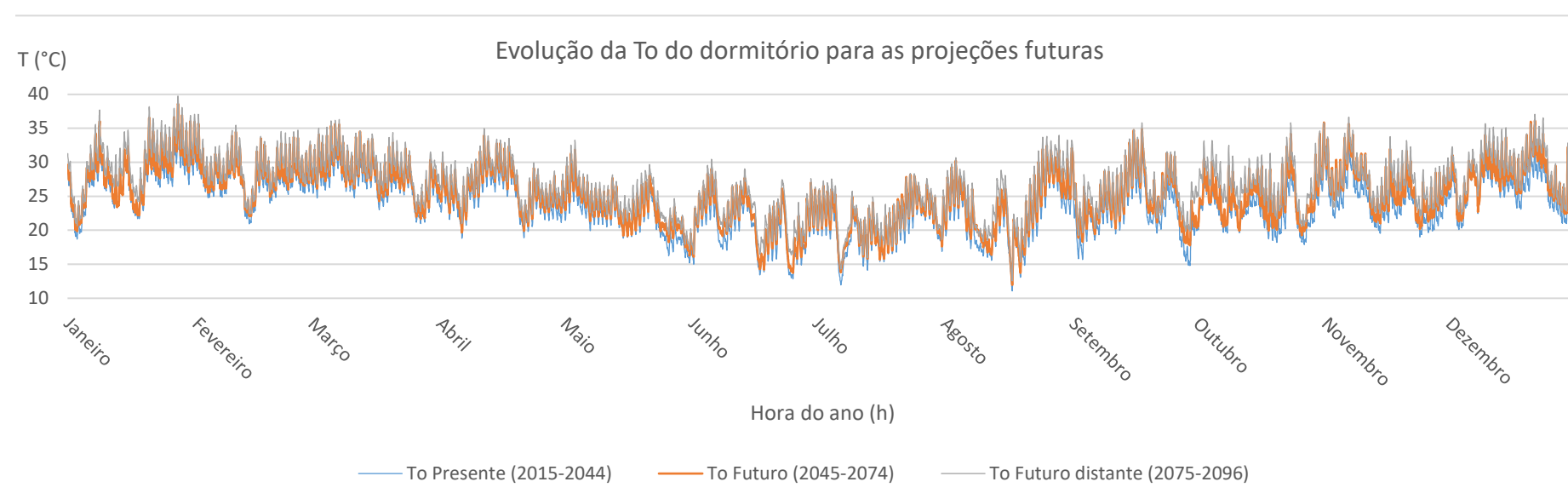


Figura 23: Gráfico do resultado anual com 8760 h de simulação computacional do dormitório para as projeções climáticas futuras.

Evolução do desconforto (80%) no Dormitório para as projeções futuras			
Projeções	Presente (2015-2044)	Futuro (2045-2074)	Futuro distante (2075-2096)
Horas de desconforto ao calor no ano	1.382	2.270	3.286
Horas de desconforto ao frio ao ano	1.745	1.032	583
Horas de desconforto totais	3.127	3.302	3.869
Horas de desconforto no ano	36%	38%	44%
Os dados climáticos utilizados para simulação nesses três períodos fazem parte da pesquisa de Alves (2019).			

Tabela 19: Horas de desconforto totais para 80% das pessoas e sua relação com o ano todo para o presente e projeções futuras.

Considerando que a vida útil de projeto (VUP) dos sistemas construtivos que compõem a edificação varia de 20 a 50 anos, segundo a própria norma de desempenho, e que o aumento das temperaturas já é um cenário visível nos dias atuais, considerar as projeções climáticas futuras para a implementação de políticas públicas regulamentadoras das atividades urbanísticas e edilícias é de extrema importância como visto nessa análise.

Para diminuir as horas de desconforto ao calor é possível utilizar algumas estratégias de projeto e de especificação dos sistemas construtivos.

#### - Orientação da fachada

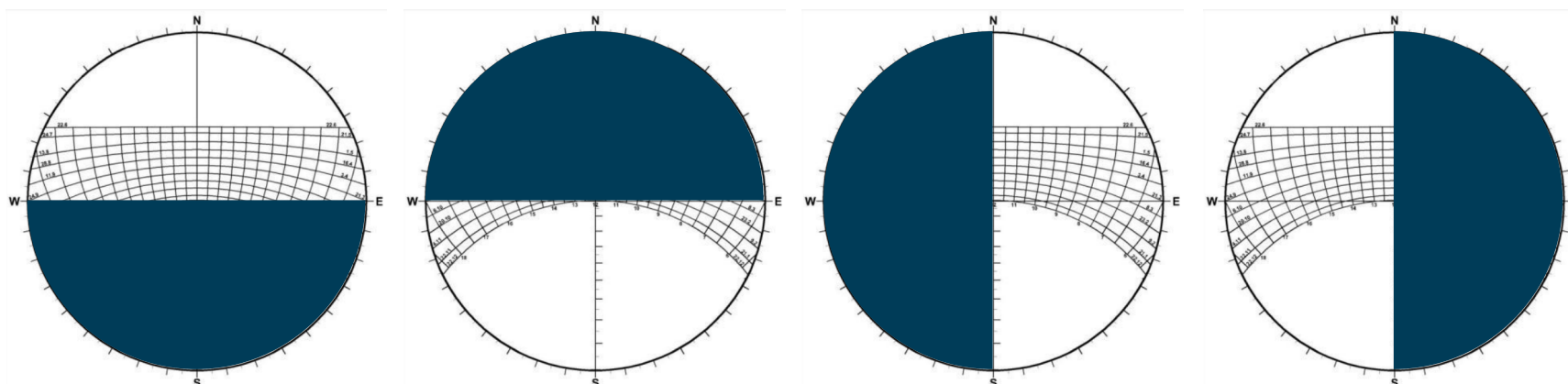


Figura 24: Horários de insolação para cada orientação de fachada. Em estudo de Alves (2019), a orientação norte proporciona temperaturas mais amenas no verão e mais aquecidas no inverno, além disso, recebe luz solar direta boa parte do ano, melhor cenário térmico luminoso para residências na cidade de São Paulo.

#### - Tipo de esquadria e brises

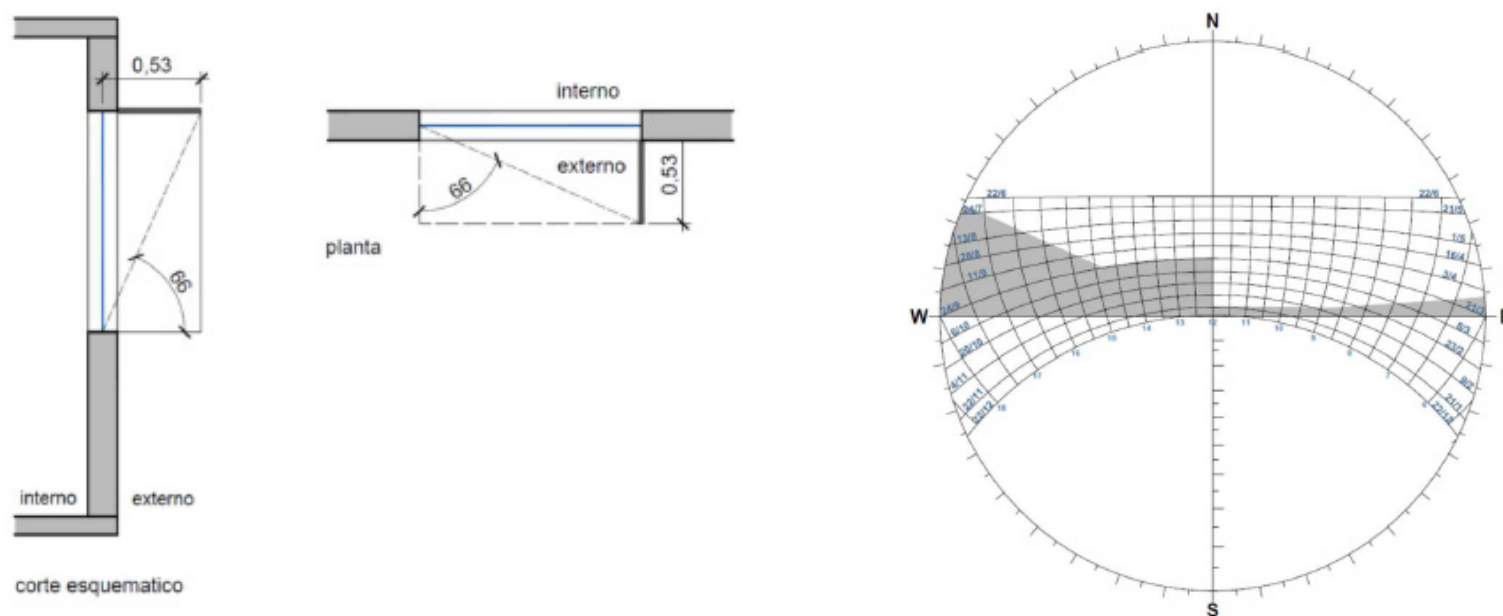


Figura 25: Brise assimétrico para fachada com orientação norte. Exemplo de elemento externo que pode ser projetado estrategicamente para sombrear horários específicos do dia de acordo com a orientação da fachada. Fonte: Alves, 2019.

- Cor de fachada

Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar	
Cor	$\alpha$
Branca	0,2 - 0,3
Amarela, laranja, vermelha-clara	0,3 - 0,5
Vermelha-escura, verde-clara, azul-clara	0,5 - 0,7
Marrom-clara, verde-escura, azul-escura	0,7 - 0,9
Marrom-escura, preta	0,9 - 1,0

Tabela 20: A cor da pintura apresenta-se como elemento importante no ganho de calor por radiação. Quanto mais clara a cor da pintura, menor é a absortância e, conseqüentemente, menor o ganho de calor por radiação solar. Tabela de absortância. Fonte: FROTA E SCHIFFER/ 2003.

- Ventilação cruzada

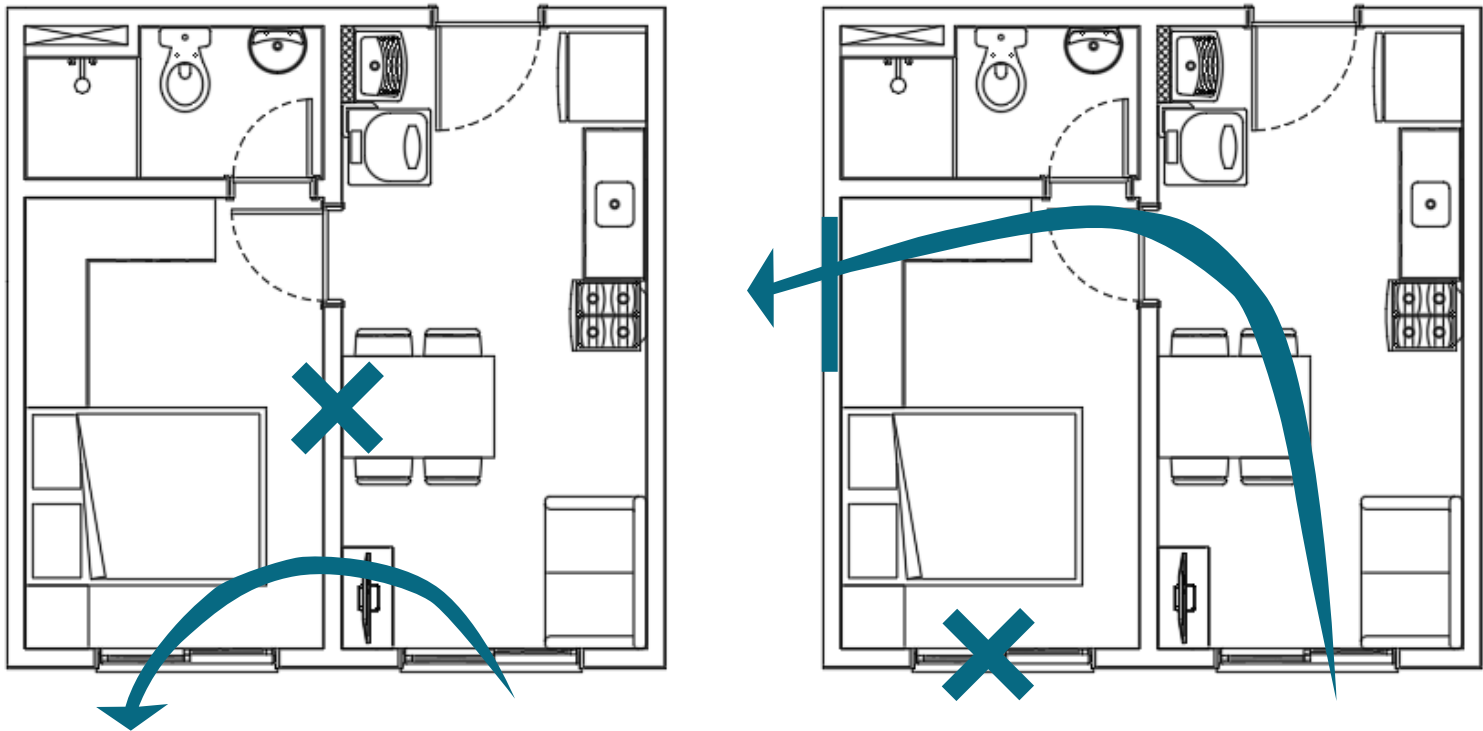


Figura 26: Utilizar a ventilação cruzada como estratégia de remoção da carga térmica. Algumas decisões de projeto podem melhorar a ventilação natural dentro do ambiente.

# 7. Desempenho e Conforto Luminoso

O desempenho luminoso da unidade foi calculado e avaliado conforme norma técnica de desempenho ABNT-NBR 15575:2013, parte 1, utilizando a simulação computacional no software EDSL TAS.

Segundo a norma de desempenho, as dependências da edificação habitacional devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes. O método de avaliação orienta que se faça a simulação computacional para o período da manhã, às 9h30 do dia 23 de abril, e para o período da tarde, às 15h30 do dia 23 de outubro. A simulação foi feita seguindo as seguintes condições:

- inserção da latitude e a longitude de São Paulo;
- nebulosidade média;
- iluminação artificial e obstruções opacas na abertura de janelas desconsideradas;
- simulações para o centro dos ambientes, na altura de 0,75 m acima do nível do piso.

Diferente da verificação do desempenho térmico que exige a simulação para a unidade mais crítica, a norma exige que se faça a verificação do desempenho luminoso para todas as unidades com orientações, andares e posições diferentes, além de considerar sombreamentos externos à edificação.

Estabelecem-se níveis de desempenho para os níveis de iluminância geral (lux) de acordo com a tabela 21.

Níveis de iluminância geral (lux)			
Dependência	Desempenho Mínimo	Desempenho Intermediário	Desempenho Superior
Sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro, corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios), garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 30	≥ 45
Nota 1 Para os edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência)			
Nota 2 Os critérios desta tabela não se aplicam às áreas confinadas que não tenham iluminação natural			
Nota 3 Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.			

Tabela 21: NBR 15575/ 2013.

Outro critério estabelecido pela norma refere-se ao fator de luz diurna (FLD), conforme tabela 22.

Fator de luz diurna (%) para os diferentes ambientes da habitação			
Dependência	Desempenho Mínimo	Desempenho Intermediário	Desempenho Superior
Sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço	≥ 0,50%	≥ 0,65%	≥ 0,75%
Banheiro, corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios), garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 0,25%	≥ 0,35%
Nota 1 Para os edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados na tabela acima (diferença máxima de 20% em qualquer dependência)			
Nota 2 Os critérios desta tabela não se aplicam às áreas confinadas que não tenham iluminação natural			

Tabela 22: NBR 15575/ 2013.

A unidade representativa foi simulada com o mesmo tipo e mesmas dimensões das esquadrias utilizadas na análise térmica, janela com 2 folhas de correr com 1,20 x 1,20 m no dormitório e 1,20 x 1,55 m na sala. A abertura de iluminação corresponde a 95% do vão aproximadamente para esse tipo de janela.

Foram feitas simulações com a fachada com abertura para iluminação voltada para as orientações norte, sul, leste e oeste em andar térreo. Como trata-se de uma simulação simplificada, não foram considerados edifícios, vegetação e obstáculos que proporcionariam sombreamento à unidade em questão.

A partir das plantas de iluminância geradas pelo software, figuras 27 e 28, fica visível que a condição menos favorável para iluminância para o dia 23 de abril às 9h30 é a unidade que tem a abertura voltada para o sentido oeste e para o dia 23 de outubro às 15h30 é a unidade voltada para o leste. No entanto, a fachada voltada para o sul é a que possui níveis de iluminância desfavoráveis durante os dois períodos do dia e do ano.

Analisando o ponto médio dos ambientes nessas quatro condições, tabelas 23 e 24, é possível concluir que a unidade atende ao desempenho com nível superior para o critério de iluminância em todas as situações e atende com nível superior e intermediário para o critério de fator de luz diurna em algumas delas.

> 23 de abril 9h30

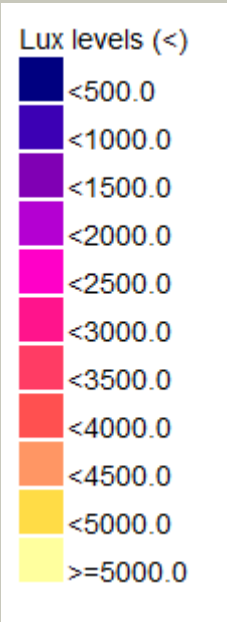
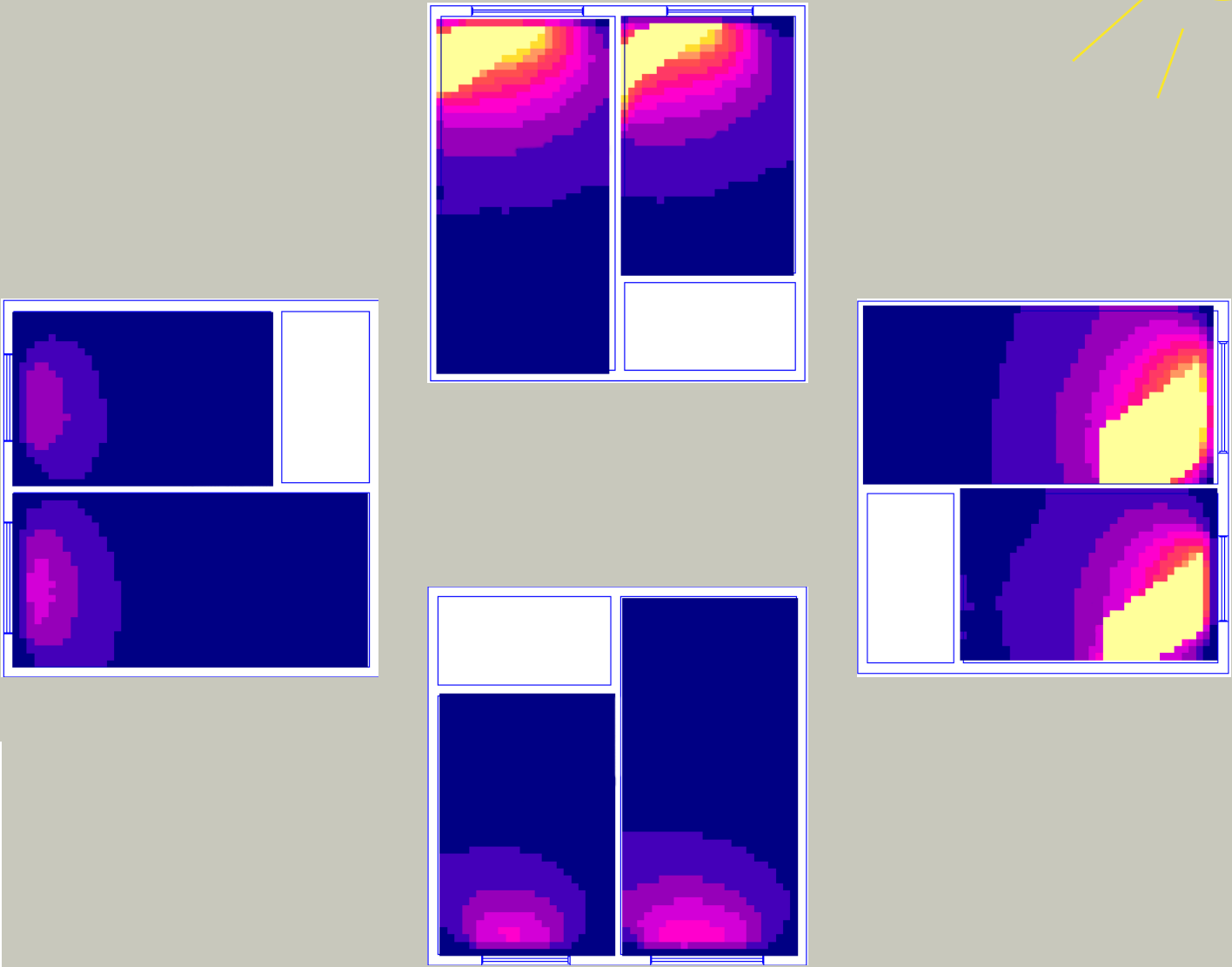


Figura 27: Planta de iluminância para o dia 23 de abril às 9h30 para as quatro possibilidades de orientação de fachadas.

> 23 de outubro 15h30

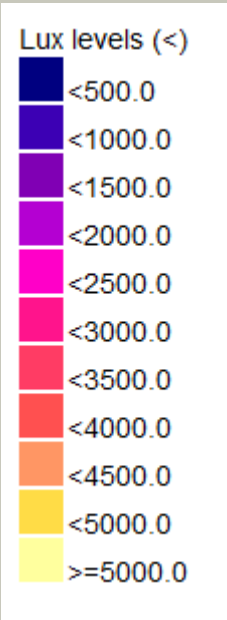
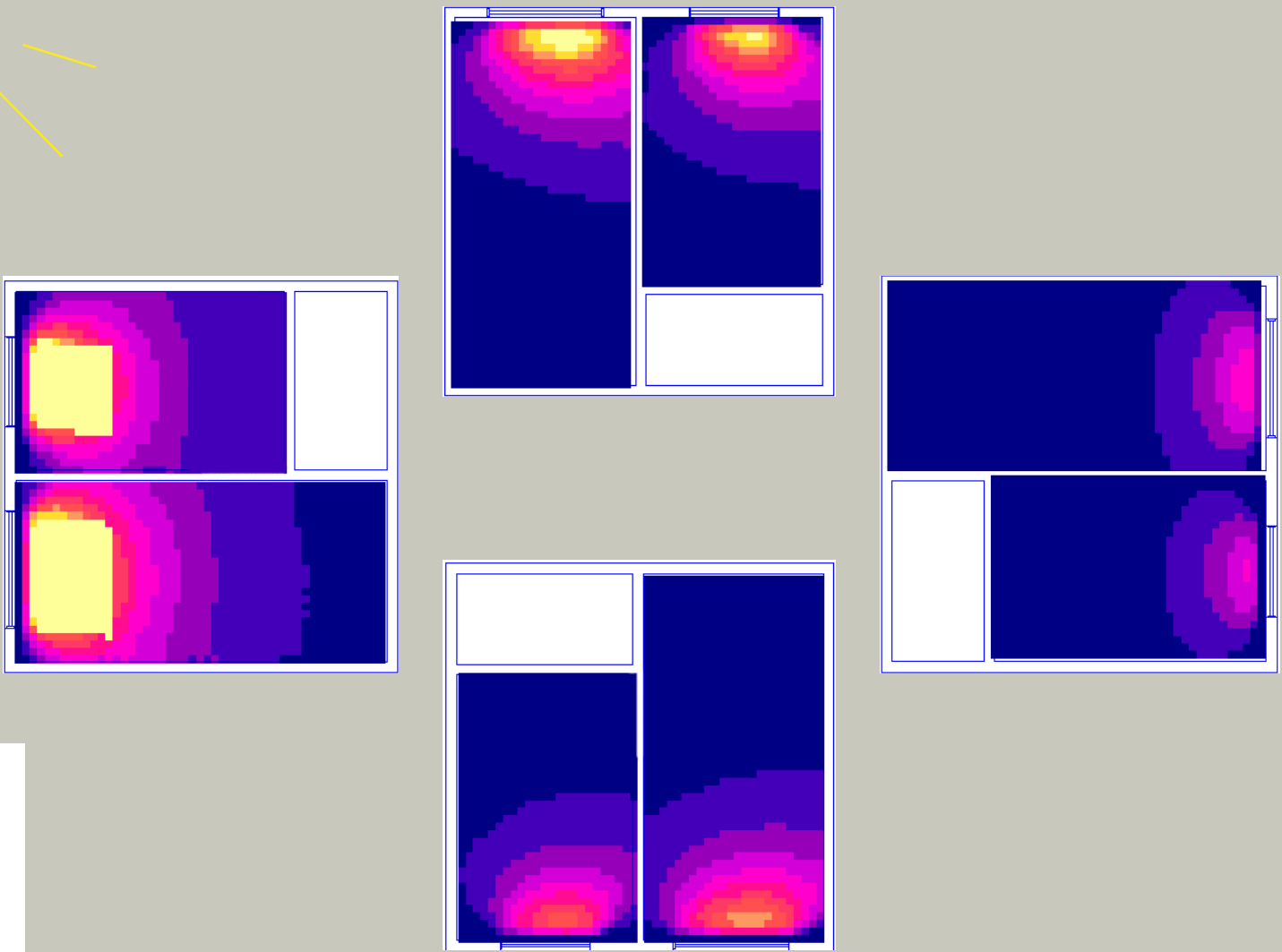
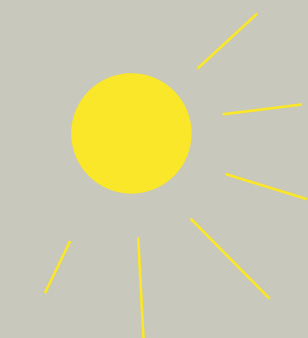


Figura 28: Planta de iluminância para o dia 23 de outubro às 15h30 para as quatro possibilidades de orientação de fachadas.

Piores níveis de iluminação					
Dia	Fachada	Dependência	Nível de iluminação no centro do ambiente (lux)	FDL (%)	Atendimento ao desempenho
23 de abril 9h30	Oeste	Sala/ Cozinha	340 lux	0,83	Atende Nível Superior
		Dormitório	338 lux	0,82	Atende Nível Superior
23 de outubro 15h30	Leste	Sala/ Cozinha	391 lux	0,66	Atende Nível Superior e Intermediário
		Dormitório	413 lux	0,70	Atende Nível Superior e Intermediário

Tabela 23: Níveis de iluminação e FDL para as situações mais desfavoráveis.

Fachada com esquadria voltada para o sul				
Dia	Dependência	Nível de iluminação no centro do ambiente (lux)	FDL (%)	Atendimento ao desempenho
23 de abril 9h30	Sala/ Cozinha	433 lux	1,05	Atende Nível Superior
	Dormitório	430 lux	1,04	Atende Nível Superior
23 de outubro 15h30	Sala/ Cozinha	759 lux	1,28	Atende Nível Superior
	Dormitório	749 lux	1,26	Atende Nível Superior

Tabela 24: Níveis de iluminação e FDL para unidade com abertura voltada para o sul.

A norma NBR 5413/ 1992, iluminação de interiores, apresenta valores de iluminação médias mínimas para iluminação artificial em interiores em ambientes com atividades de serviço. Embora tenha sido substituída pela NBR ISO/CIE 8995-1/ 2013, Iluminação de ambientes de trabalho: interior, que leva em consideração outros parâmetros para criar condições visuais confortáveis como limite referente ao desconforto por ofuscamento e índice de reprodução de cor mínimo, a NBR 5413 apresenta recomendações para níveis de iluminação para ambientes residenciais.

Níveis de iluminação		
Ambiente	Descrição	Iluminância (lux)
Sala	Geral	150
	Local de leitura, escrita, bordado, etc	500
Cozinhas	Geral	150
	Local de fogão, pia, mesa	300
Dormitórios	Geral	150
	Local de espelho, penteadeira, cama	300

Tabela 25: ABNT NBR 5413/1992.

Comparando a iluminação obtida através de simulação para as piores situações com os níveis recomendados para os ambientes residenciais, é possível concluir que de modo geral, a iluminação natural pode ser bem aproveitada para atividades simples que ocorrem nesses ambientes no período diurno sem a necessidade do auxílio da iluminação artificial, com exceção das atividades que envolvem escrita, leitura e trabalhos manuais.

# 8. Desempenho e Conforto Acústico

O desempenho acústico foi analisado através da norma brasileira NBR 15575/2013 partes 1, 3, 4, 5 e 6, que determina níveis de desempenho para vedações externas, coberturas, pisos e paredes internas entre unidades autônomas distintas. Foram utilizados os softwares Insul, para cálculo de índices de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) e do nível de ruído de impacto ponderado ( $L_{n,w}$ ) de cada elemento construtivo, e Sonrchitect, para simulação computacional de desempenho acústico.

## > Fachadas e cobertura

Determinam-se níveis de desempenho para fachadas e coberturas de acordo com a classe de ruído da região de implantação da edificação. O isolamento é medido através da diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada ( $D_{2m,nTw}$ ), ou seja, a diferença de nível entre o nível medido a 2 m da fachada e dentro do ambiente.

Diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nTw}$ , da vedação externa de dormitório				
Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nTw}$ (dB)		
		M	I	S
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	20 a 24	25 a 30	$\geq 30$
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	25 a 29	30 a 34	$\geq 35$
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	30 a 34	35 a 40	$\geq 40$
Nota 1. Para vedações externas de salas, cozinhas lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.				
Nota 2. Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, há necessidade de estudos específicos.				

Tabela 26: NBR 15575/2013.

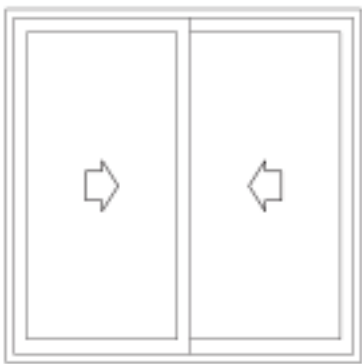
Atualmente está sendo discutido para a revisão da norma de desempenho um método de classificação menos generalista e subjetiva para definir a classe de ruído do entorno, uma vez que não é possível mensurar o que pode estar enquadrado como “ruído intenso” ou não. Para contornar o problema da classificação do entorno presente na norma, a Pro Acústica, Associação Brasileira para Qualidade Acústica, criou um guia prático (2017) com procedimentos recomendados para a definição da classe de ruído de acordo com estudo das características acústicas do entorno da edificação e legislações vigentes (tabela 27).

Níveis de pressão sonora equivalentes $L_{Aeq}$ incidentes nas fachadas das edificações para cada classe de ruído	
Classe de ruído	Nível de pressão sonora equivalente $L_{Aeq}$ - dB
I	$\leq 60$
II	60 a 65
III	66 a 70

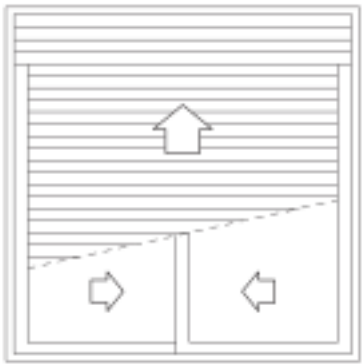
Tabela 27: ProAcústica, 2017.

Outra discussão em pauta é a exigência de se obter o desempenho mínimo somente no dormitório, excluindo ambiente de sala e cozinha. A sala, principalmente, é um ambiente de longa permanência cada vez mais utilizado nas unidades mais enxutas em áreas como é o caso das unidades populares. A exclusão da exigência de um desempenho mínimo nesse ambiente pode gerar incômodos graves aos moradores que ocupam esse espaço em regiões que produzem altos níveis de ruído urbano.

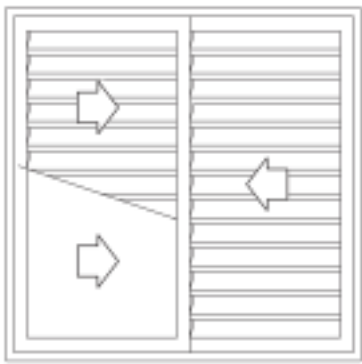
A unidade analisada foi simulada com os mesmos sistemas de parede, piso e cobertura definidos anteriormente. Inicialmente foram selecionados três tipos de esquadrias (1, 2 e 3) mais comuns no mercado de alguns fabricantes (A, B e C) que oferecem linhas econômicas, seguindo o padrão para habitações de interesse social.



**Tipo 1** - 2 folhas de vidro



**Tipo 2** - 2 folhas de vidro + persiana de enrolar embutida



**Tipo 3** - 3 folhas - 1 folha de vidro + 1 veneziana fixa + 1 veneziana móvel

Figura 29: Tipos de esquadrias mais comuns em habitações populares.

Índice de redução sonora ponderado $R_w$ dos sistemas de parede e esquadrias			
Fabricante	Tipo	Descrição	$R_w$ (dB)
-	-	Parede de alvenaria com bloco de concreto estrutural (09,7kg) de esp.14cm (14x19x39) com gesso de 0,5cm do lado interno e massa de 1,5cm do lado externo	44
A	1	Janela de correr de 2 folhas com vidro de esp.=4mm	21
	2	Janela de correr de 2 folhas com vidro de esp.=4mm com persiana de enrolar integrada fechada	28
	3	Janela de correr de 3 folhas com uma folha de vidro de esp.=4mm e duas folhas de veneziana	18
B	2	Janela de correr de 2 folhas com vidro de esp.=4mm e persiana de enrolar integrada aberta	22
	2	Janela de correr de 2 folhas com vidro de esp.=4mm e persiana de enrolar integrada fechada	28
C	1	Janela de correr de 2 folhas de vidro	16
	2	Janela de correr de 2 folhas de e persiana de enrolar integrada	26

Tabela 28: Índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) de sistemas de parede e esquadrias.

Para se obter desempenhos acústicos mais elevados nas fachadas e nas coberturas, os sistemas construtivos da parede e piso acabam não sendo tão significativos. Isso porque o índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , da esquadria é consideravelmente menor, tornando-o ponto mais frágil dos sistemas.

Então, a escolha da esquadria deve levar em consideração o conjunto de ferragens, vidros e vedações de frestas utilizados pelo fabricante, que vai desempenhar papel importante no isolamento acústico e conseqüentemente no índice  $R_w$ . É possível perceber a partir da tabela 28 que um mesmo tipo de esquadria pode apresentar diferentes  $R_w$  dependendo do fabricante e da linha.

O tipo 1 é atualmente o mais empregado nas edificações residenciais hoje. O tipo 2 também é muito utilizado e é mais interessante por possibilitar a regulação da persiana para maior isolamento acústico, térmico e lumínico, possuindo um isolamento acústico considerável quando fechado. O tipo 3 já foi muito utilizado antes e possui a desvantagem de ter pelo menos 50% de sua área de iluminação e ventilação obstruída e não possuir ajustes para as frestas da veneziana, além de possuir o menor  $R_w$  dentre os três tipos.

Foi analisado o desempenho dos três tipos de esquadria da fabricante A para as três classes de ruído no dormitório.

Desempenho do sistema de fachada no dormitório				
Sistema construtivo	Desempenho Estimado ( $D_{2m,nT,w}$ )	Atendimento à Norma para classe I	Atendimento à Norma para classe II	Atendimento à Norma para classe III
Fabricante A - Tipo 1	28 dB	Atende Nível Intermediário	Atende Nível Mínimo	Não Atende
Fabricante A - Tipo 2	35 dB	Atende Nível Superior	Atende Nível Superior	Atende Nível Intermediário
Fabricante A - Tipo 3	26 dB	Atende Nível Intermediário	Atende Nível Mínimo	Não Atende

Tabela 29: Desempenho do sistema de fachada no dormitório.

Nota-se que os tipos de esquadria 1 e 3 não atenderiam ao critério caso o edifício estivesse em uma região enquadrada como Classe de Ruído III. O tipo 2 apresentaria uma melhoria de 7 dB a 9 dB em relação às outras e atenderia às três situações.

O problema quanto ao tipo 2, no entanto, é que o isolamento ao ruído externo só é aumentado quando utiliza-se a persiana fechada, obstruindo a área de iluminação e ventilação natural. Mesmo assim, é a melhor opção dentre as três analisadas por possibilitar um maior isolamento sonoro através da regulação manual.

> Paredes internas

A norma de desempenho determina critérios de desempenho para o isolamento acústico entre ambientes de unidades diferentes e entre unidades e áreas de uso comum e de trânsito eventual, conforme tabela abaixo. O isolamento é medido através da diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ).

Diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$ , entre ambientes			
Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)		
	M	I	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40	≥ 45	≥ 50
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	≥ 45	≥ 50	≥ 55
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40	≥ 45	≥ 50
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30	≥ 35	≥ 40
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45	≥ 50	≥ 55
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ( $D_{nT,w}$ obtida entre as unidades)	≥ 40	≥ 45	≥ 50

Tabela 30: NBR 15575/ 2013.

Para análise do desempenho entre unidades, foi utilizada a planta tipo do edifício. Inicialmente adotou-se o mesmo tipo de bloco nas paredes internas de geminação utilizado para a simulação térmica do edifício, bloco de concreto estrutural de espessura 14 cm com revestimentos internos em gesso de 0,5 cm. Como a parede inicial não atendeu ao critério, outras possíveis configurações de paredes, conforme tabela 31, foram utilizadas em simulação.

Índices de redução sonora Rw para vedações verticais internas		
Parede	Descrição	Rw
PA-01	Bloco de concreto estrutural (09,7kg) de esp.14cm (14x19x39) com gesso de 0,5cm de cada lado	42 dB
PA-02	Bloco de concreto de vedação (10,8kg) de esp.19cm (19x19x39) com gesso de 0,5cm de cada lado	44 dB
PA-03	Bloco “acústico” de concreto estrutural (15,5kg) de esp.14cm (14x19x39) com gesso de 0,5cm de cada lado	47 dB
PA-04	Bloco de concreto estrutural (09,7kg) de esp.14cm (14x19x39) com gesso de 0,5cm de cada lado preenchido em graute (1800kg/m³)	47 dB
PA-05	Bloco “acústico” de concreto de vedação (17,0kg) de esp.19cm (19x19x39) com gesso de 0,5cm de cada lado	49 dB
PA-06	Parede dupla com bloco de concreto de vedação (06,35kg) de esp. 09cm (09x19x39) com espaçamento de 2cm entre elas e gesso de 0,5cm de cada lado.	50 dB
PA-07	Parede de drywall com duas placas standards de cada lado e montante de 70mm com preenchimento em lã acústica de 5cm (33kg/m³)	52 dB

Tabela 31: Índices de redução sonora (Rw) para vedações verticais internas.

Desempenho acústico de vedações verticais internas												
Requisito e desempenho mínimo	Ambiente 1	Ambiente 2	PA-01		PA-02		PA-03/ PA-04		PA-05/ PA-06		PA-07	
			D <sub>nT,w</sub>	Atendimento à Norma	D <sub>nT,w</sub>	Atendimento à Norma	D <sub>nT,w</sub>	Atendimento à Norma	D <sub>nT,w</sub>	Atendimento à Norma	D <sub>nT,w</sub>	Atendimento à Norma
Geminação sem dormitório ≥ 40 dB	Sala/ Cozinha	Sala/ Cozinha	39dB	Não Atende	41dB	Atende Nível Mínimo	44dB	Atende Nível Mínimo	45dB	Atende Nível Intermediário	45dB	Atende Nível Intermediário
Geminação com dormitório ≥ 45 dB	Dormitório	Dormitório ou Sala/ Cozinha	39dB	Não Atende	41dB	Não Atende	44dB	Não Atende	45dB	Atende Nível Mínimo	45dB	Atende Nível Mínimo
Dormitório x Áreas comuns de trânsito eventual ≥ 40 dB	Dormitório	Escada	40dB	Atende Nível Mínimo	41dB	Atende Nível Mínimo	44dB	Atende Nível Mínimo	46dB	Atende Nível Intermediário	45dB	Atende Nível Intermediário
Unidades separadas pelo hall ≥ 40 dB	Sala/ Cozinha	Circulação	*									
* Desempenho deve ser analisado conforme tipo de porta e seu Rw												

Tabela 32: Desempenho acústico de vedações verticais internas entre ambientes.

O bloco estrutural de concreto de 14 cm, PA-01, não atendeu ao critério de desempenho mínimo obrigatório na geminação entre unidades com e sem dormitório. Isso mostra que a concepção inicial do sistema construtivo não passou no critério de paredes internas e precisará de reavaliação. Outro tipo de parede muito empregada na construção civil de edifícios residenciais é o bloco de concreto de vedação de 19cm, PA-02. Ao utilizá-la em simulação, houve melhoria do desempenho e a geminação entre salas já passa a atender o critério nas unidades analisadas. Como o critério para paredes entre dormitórios é mais exigente, essa parede ainda não passaria nos requisitos.

Duas possíveis alternativas são adotar um bloco conhecido como “acústico” no mercado, que tem uma densidade maior e consequentemente um índice de isolamento sonoro maior, ou preencher o bloco com graute. Essas duas alternativas, no entanto, chegaram próximas mas não atenderam ao critério em dormitórios.

Fez-se o teste com o bloco acústico de maior espessura, 19cm, e com uma parede dupla de 9 cm e espaçamento de 2 cm. Essas duas composições de parede atingiram o nível mínimo para dormitórios. É possível perceber que esse requisito já traz a necessidade de adoção de soluções um pouco mais elaboradas e incentiva o mercado a desenvolver novas propostas que melhorem aos poucos a qualidade acústica dos edifícios.

Foi analisado também outro tipo de sistema construtivo que aos poucos ganha visibilidade no mercado que é o sistema em drywall. Como analisado, uma composição de duas placas com preenchimento em lã totalizando uma espessura de 12cm, menor em espessura e mais leve do que outras opções analisadas, atinge o mesmo desempenho que as soluções anteriores. É um sistema que apresenta além disso muitas outras vantagens como tempo de execução, obra limpa, redução no consumo de matéria prima, entre outros. No entanto, como a execução exige uma mão de obra mais qualificada e mudanças de processos construtivos, a aceitação desse sistema ainda é lenta no mercado da construção civil.

Todos esses testes tiveram a intenção de atender pelo menos o desempenho mínimo obrigatório para todos os itens considerando sistemas construtivos já implementados hoje. Para atingir requisitos mais altos, é necessário adotar sistemas mais pesados e robustos ou adotar sistemas construtivos mais sofisticados.

> Pisos

Os pisos devem atender a critérios de isolamento acústico entre unidades autônomas. A norma impõe critérios de desempenho para ruído de impacto, através do nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado ( $L'_{nT,w}$ ), e para ruído aéreo, através da diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ), como mostram tabelas 33 e 34.

Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderada, $L'_{nT,w}$			
Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)		
	M	I	S
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos	80 a 66	65 a 55	$\leq 55$
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	55 a 51	50 a 46	$\leq 45$

Tabela 33: NBR 15575/ 2013.

Critério de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$			
Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)		
	M	I	S
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	45 a 49	50 a 54	$\geq 55$
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos	40 a 44	45 a 49	$\geq 50$
Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, nas situações onde não haja ambiente dormitório			
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, tais como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	45 a 49	50 a 54	$\geq 55$

Tabela 34: NBR 15575/ 2013.

Inicialmente, foi utilizada em simulação para a unidade representativa uma laje de altura 10 cm com contrapiso de espessura 4 cm, laje comumente utilizada nos empreendimentos residenciais de padrão econômico. Foi simulado também o desempenho para uma laje com altura de 12 cm com contrapiso de espessura 4 cm para analisar a melhoria do isolamento com aumento da espessura de laje.

Índice de isolamento sonoro ponderado, $R_w$ , para sistema de pisos			
Piso	Descrição	$R_w$	$L_{n,w}$
PI-01	Laje de 10cm + contrapiso de 4cm	53 dB	78 dB
PI-02	Laje de 12cm + contrapiso de 4cm	55 dB	76 dB
Piso	Descrição	$\Delta R_w$	$\Delta L_{n,w}$
PI-A	Manta acústica 3mm com contrapiso flutuante	0	20
PI-B	Revestimento laminado 7mm com manta acústica	0	19

Tabela 35: Índice de isolamento sonoro ponderado para sistema de pisos.

Desempenho acústico de pisos									
Ambiente 1	Ambiente 2	PI-01				PI-02			
		$D_{nT,w}$	Atendimento à norma para ruído aéreo	$L'_{nT,w}$	Atendimento à norma para ruído de impacto	$D_{nT,w}$	Atendimento à norma para ruído aéreo	$L'_{nT,w}$	Atendimento à norma para ruído de impacto
Sala/ Cozinha	Sala/ Cozinha	48dB	Atende Nível Intermediário	80dB	Atende Nível Mínimo	49dB	Atende Nível Intermediário	78dB	Atende Nível Mínimo
Dormitório	Dormitório	47dB	Atende Nível Mínimo	82dB	Não Atende	48dB	Atende Nível Mínimo	80dB	Atende Nível Mínimo

Tabela 36: Desempenho acústico de pisos.

É possível perceber que o piso de altura 10 cm não atendeu ao critério de ruído de impacto nos dormitórios. Com o aumento da altura da laje para 12 cm, já foi possível atingir ao desempenho mínimo. É possível observar que não houve dificuldade para se atender ao ruído aéreo nessa unidade analisada.

Foram simuladas também algumas alternativas de pisos com tratamento acústico que melhorariam o desempenho ao ruído de impacto mantendo-se a laje de altura 10 cm.

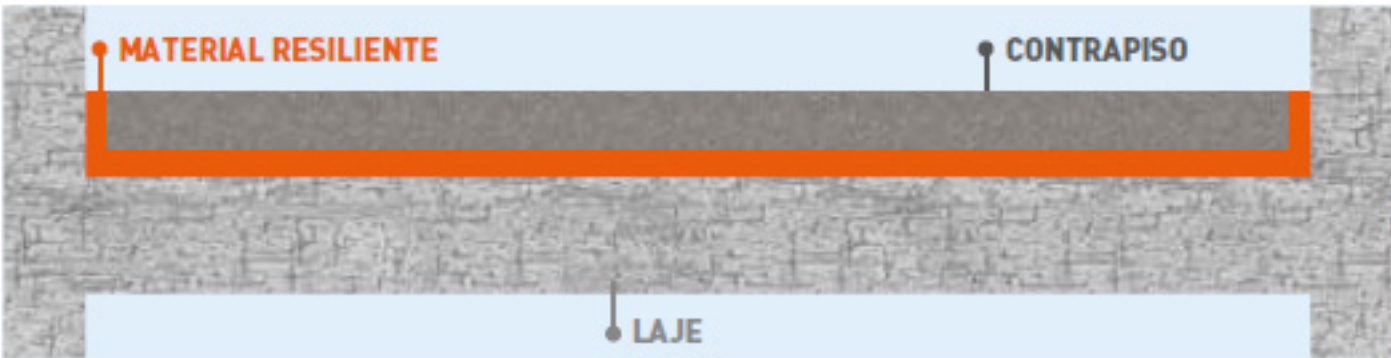


Figura 30: Contrapiso flutuante sobre manta acústica. Fonte: ProAcústica, 2015.



Figura 31: Piso laminado sobre manta acústica.

Desempenho acústico de pisos com tratamento					
Ambiente 1	Ambiente 2	PI-01 + PI-A		PI-01 + PI-B	
		L'nT,w	Atendimento à norma para ruído de impacto	L'nT,w	Atendimento à norma para ruído de impacto
Sala/ Cozinha	Sala/ Cozinha	57dB	Atende Nível Intermediário	53dB	Atende Nível Superior
Dormitório	Dormitório	59dB	Atende Nível Intermediário	55dB	Atende Nível Superior

Tabela 37: Desempenho acústico de pisos com tratamento.

A utilização de contrapiso flutuante sobre manta acústica aumentou drasticamente o desempenho em 23 dB em relação à laje sem tratamento acústico. Já a adoção de um revestimento de piso laminado sobre manta acústica chegou a apresentar uma diferença de 27 dB. Portanto, é possível concluir que a adoção de um tratamento acústico nos pisos é muito mais vantajosa para o desempenho acústico do que o aumento de laje.

O revestimento de piso com manta acústica é um tratamento utilizado mais frequentemente nas habitações de padrão popular. Isso porque as unidades de médio e alto padrão tendem a ter seus revestimentos trocados pelos proprietários após a entrega pela construtora. O contrapiso flutuante, apesar de exigir uma execução de maior complexidade, tem ganhado então maior visibilidade no mercado por conta disso.

> Conforto Acústico

O conceito de conforto acústico está relacionado à sensação de bem-estar em relação ao ambiente ocupado considerando as atividades desenvolvidas dentro dele. Essa sensação, no entanto, geralmente não é percebida pelos usuários, mas a sua falta gera insatisfação. As causas estão relacionadas aos sons indesejados que podem ser provenientes do ambiente externo ou adjacente, de equipamentos ruidosos, da reverberação ou eco do próprio ambiente, etc.

Os efeitos negativos mais comuns na ausência de conforto acústico em ambientes residenciais são inteligibilidade prejudicada, irritabilidade, diminuição da capacidade de concentração e distúrbio do sono. Quando se há exposição a altos níveis de ruído por tempo prolongado, os efeitos negativos podem ser ainda mais danosos, prejudicando a saúde do indivíduo.

Nas edificações residenciais, tenta-se garantir o conforto acústico através da atenuação da transmissão sonora proporcionada pelos sistemas construtivos da edificação, do tratamento de equipamentos prediais causadores de ruído e do condicionamento acústico nas áreas de uso comum. Para análise acústica da unidade habitacional neste trabalho, será considerado apenas o isolamento acústico entre unidades e entre meio externo.

Machimbarrena (2016) fez uma comparação dos critérios de isolamento sonoro em edifícios residenciais vigentes em 8 países europeus e sul-americanos (tabela 38).

Isolamento sonoro entre habitações em edifícios multifamiliares - Requisitos		
País	Critério para ruído aéreo [dB]	Critério para ruído de impacto [dB]
Brasil	$D_{nT,w} \geq 45$	$L'_{nT,w} \leq 80$
Argentina	$R'_w \geq 50$	$L'_{n,w} \leq 53$
Chile	$RA/ R'A \geq 45$	$L_{n,w} \leq 75$
Áustria	$D_{nT,w} \geq 55$	$L'_{nT,w} \leq 48$
Bélgica	$D_{nT,w} \geq 54$	$L'_{nT,w} \leq 58$
República Tcheca	$R'_w \geq 53$	$L'_{n,w} \leq 55$
Dinamarca	$R'_w \geq 55$	$L'_{n,w} \leq 53$
Espanha	$D_{nT,A^*} \approx D_{nT,w} + C \geq 50$	$L'_{nT,w} \leq 65$
1. As informações apresentam um panorama geral. Os critérios e condições estão detalhados em legislações específicas		
2. Não há como converter os índices para fins de comparação. Os índices tem relação com as características dos ambientes e dos sistemas construtivos		
3. Estão apresentados os principais critérios. Geralmente há critérios mais estritos envolvidos como para locais ruidosos.		

Tabela 38: MACHIMBARRENA, 2017.

Apesar de cada país apresentar um índice diferente, que se diferenciam pela padronização do tempo de reverberação e área de absorção, é possível ter uma ideia geral dos padrões de exigência de desempenho adotados nesses países. O Brasil apresenta critérios de desempenho para isolamento sonoro menos rigorosos se comparado a esses países. O critério de isolamento para ruído aéreo está entre 5 a 10 dB abaixo e para ruído de impacto está entre 15 dB a 32 dB abaixo do nível adotado nos países analisados, com exceção do Chile.

A tabela 39 apresenta o grau de inteligibilidade da fala em um recinto em função do isolamento acústico e do nível de ruído no ambiente adjacente.

Influência da $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB	
Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ [dB]
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	$\geq 50$

Tabela 39: NBR 15575/ 2013. Adaptado da Association of Australian Acoustical Consultants, 2010.

As análises mostram que os critérios internacionais para o isolamento ao ruído aéreo adotam como requisito a não audibilidade de fala entre unidades autônomas. No Brasil, o critério mais rígido adota como requisito mínimo a não inteligibilidade entre unidades, já os critérios menos rígidos, desempenhos mínimos que não isolam o som, sendo possível ouvir e entender.

A ProAcústica (2015) também fez um levantamento dos critérios utilizados em diferentes países para o ruído de impacto em pisos e os comparou com os desempenhos mínimo (M), intermediário (I) e superior (S) da norma brasileira (figura 32).

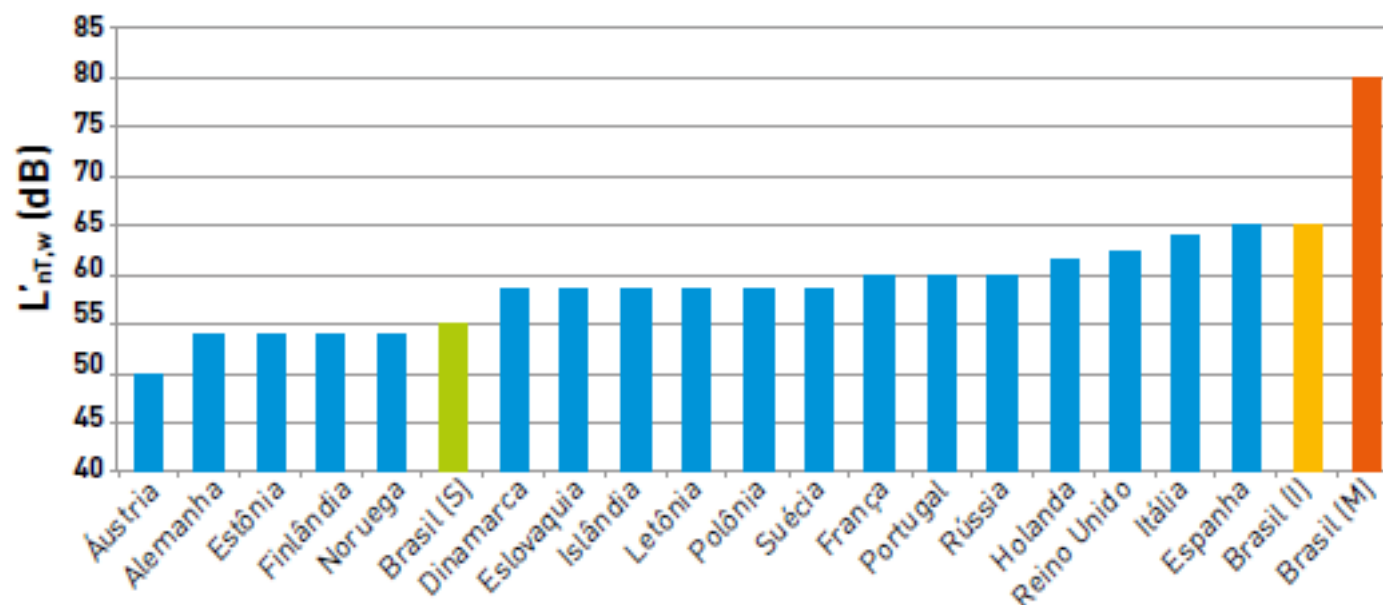


Figura 32: Comparativo do desempenho acústico ao ruído de impacto entre diferentes países. Fonte: ProAcústica, 2015.

O gráfico da figura 32 mostra que o Brasil estabelece um critério de desempenho mínimo para ruído de impacto muito abaixo dos utilizados em outros países, que adotam critérios equivalentes ao intermediário e superior da norma brasileira.

Como foi analisado anteriormente em simulação, já existem sistemas capazes de atingir esses desempenhos. No entanto, o aumento do rigor desses critérios implicaria em sair dos padrões produzidos no mercado atualmente para utilizar sistemas mais sofisticados, com maiores custos de implantação e maior complexidade de execução considerando o nível de instrução da mão-de-obra empregada no mercado da construção civil.

Apesar da norma de desempenho brasileira ainda estar abaixo dos padrões internacionais, ela representou um grande avanço para o conforto acústico em habitações frente à tendência de racionalização das construções que vinha ocorrendo desde a década de 1990. Com o intuito de reduzir os custos da construção, o sistema de laje chegou a ser reduzido para 7 cm de altura sem adição de contrapiso e o sistema de parede em alvenaria para 9 cm de espessura antes da norma de desempenho como conhecemos hoje. (AKKERMAN, 2012).

## 9. Considerações finais

As legislações urbanísticas e edilícias e normas técnicas têm um importante papel na definição da morfologia urbana e no estabelecimento de requisitos mínimos de desempenhos para as edificações. Esses fatores, junto aos padrões de produção de habitação no mercado imobiliário, definirão o padrão de qualidade ambiental dos edifícios que estão sendo construídos atualmente na cidade.

Diante da análise dos principais fatores que determinam as condições de conforto ambiental, é possível concluir que a inserção do edifício no meio urbano é tão importante quanto as definições de projeto e de seus sistemas construtivos. Por isso, o estudo da morfologia urbana é de extrema importância para se entender o impacto dos fatores externos nos espaços internos aos edifícios.

Ao realizar uma análise de desempenho térmico, luminoso e acústico com uma unidade representativa de padrão popular de acordo com a norma NBR 15575/ 2013, utilizando elementos construtivos simples e econômicos em peso e dimensões, verifica-se que não houve necessidade em adequar os sistemas na maioria dos casos. Quando houve, a solução que atendeu ao desempenho mínimo não se distanciava dos padrões construtivos já empregados.

Apesar desses resultados aparentarem algo positivo, uma vez que atenderam facilmente aos critérios de desempenho, a comparação da norma com outros documentos normativos brasileiros e de outros países mostrou que os critérios de desempenho exigidos ainda estão distantes de garantir conforto ambiental aos usuários.

A premissa de incentivo ao desenvolvimento tecnológico da construção civil através do estabelecimento de exigências mínimas de desempenho que a norma apresenta, então, pouco está sendo aplicada no campo do conforto ambiental.

# 10. Bibliografia

- ABNT. NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral, 2019.
- ABNT. NBR 10152: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, 2017.
- ABNT. NBR 15220: Desempenho Térmico das Edificações. Setembro, 2003.
- ABNT. NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho, 2013.
- ABNT. NBR 5413: Iluminância de Interiores, 1992.
- ALVES, Carolina Abrahão. A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição. 2019. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2019.
- ALVES, Carolina Abrahão. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo. 2014. (Dissertação de mestrado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2014.
- AKKERMAN, Davi. Conforto acústico. Norma de desempenho para unidades habitacionais. Drops, São Paulo, ano 13, n. 060.07, Vitruvius, set. 2012 <<https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/13.060/4499>>.
- CAIXA. Selo Casa Azul. Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo : Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.
- CARLO, Ualfrido del. Desempenho de edifícios, ensino de tecnologia da arquitetura, certificação ambiental de edifícios. [Entrevista concedida a] Denise Duarte, Joana Carla S. Gonçalves, Roberta C. Kronka Mülfarth. Revista pós, São Paulo, n. 22, dez. 2007.
- CHENG, Vicky. Understanding density and high density. In: NG, Edward. Designing high-density cities: for social and environmental sustainability. London: Earthscan, 2010. p. 3-17.
- DUARTE, Denise Helena Silva. Densidade e qualidade ambiental: o inevitável, o desejável e o possível. In: Habitat Sustentable[S.l: s.n.], 2012.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. 8 ed. Sao Paulo: Studio Nobel, 2003.
- GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. (Org.). Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- HUMPHREYS, M.A.; RIJAL, H.B.; NICOL, J.F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. Building and Environment, v. 63, p. 40-55, 2013.
- LONGARINE, Augusto. Caracterização da produção recente de edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Paulo. Subsídios para estudos de desempenho térmico das unidades e de impactos na mobilidade urbana. (Pesquisa de iniciação científica) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo.
- MACHIMBARRENA, María; RASMUSSEN, Birgit. Comparison of acoustic regulations for housing and schools in selected countries in Europe and South America – A pilot study. Buenos Aires, 2016.

NG, Edward. Design for Urban Ventilation. In: NG, Edward. Designing high-density cities: for social and environmental sustainability. London: Earthscan, 2010. p. 119-136.

PROACÚSTICA. Manual ProAcústica de recomendações básicas para contrapisos flutuantes. São Paulo, 2015.

PROACÚSTICA. Manual ProAcústica para classe de ruído das edificações habitacionais. São Paulo, 2017.

SANTO, A.D.; ALVAREZ, C. E.; RODRIGUEZ, E.A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. 2013. (Publicação do Laboratório de Planejamento e Projetos) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.050/2014 – Plano Diretor Estratégico. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/plano-diretor/texto-da-lei-ilustrado/>>. Acesso em: agosto/2019.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.402/2016 – Lei de Parcelamento, o Uso e Ocupação do Solo. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/zoneamento/arquivos/>>. Acesso em: agosto/2019.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.642/2017 e Decreto nº 57.776/2017 – Código de Obras e Edificações. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/codigo-de-obras-e-edificacoes/entenda-o-codigo/>>. Acesso: agosto/2019.

RASMUSSEN, Birigit. Sound insulation in multi-storey housing in Europe - situation Anno 2017 and needs for upgrading. Hong Kong, 2017.

TSUDA, Fernanda Panontin. Conforto, adequação climática e o papel dos códigos de edificações: os desafios de São Paulo frente ao estado da arte no Brasil e no mundo. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

WHO (World Health Organization). Guidelines for community noise. London, 1999.

