



Conforto Ambiental: Térmico

Conforto Ambiental Térmico

Talita Andrioli Medinilha de Carvalho

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Elena Furlan da França

Maria de Fátima Ferreira Neto

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C331c Carvalho, Talita Andrioli Medinilha de
Conforto ambiental: térmico / Talita Andrioli Medinilha
de Carvalho. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional
S.A., 2018.

200 p.

ISBN 978-85-522-0664-4

1. Arquitetura. I. Carvalho, Talita Andrioli Medinilha de.
II. Título.

CDD 720

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018

Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br>

Sumário

Unidade 1 Relação entre arquitetura e clima	7
Seção 1.1 - Fundamentos introdutórios de conforto térmico	9
Seção 1.2 - Arquitetura e clima	24
Seção 1.3 - Carta bioclimática brasileira	38
Unidade 2 Estratégias bioclimáticas	55
Seção 2.1 - Seção 1.1 - Resfriamento evaporativo e umidificação	57
Seção 2.2 - Seção 1.2 - Massa térmica e aquecimento solar	72
Seção 2.3 - Seção 1.3 - Ventilação natural	85
Unidade 3 Normas de desempenho térmico, conceito e cálculo	101
Seção 3.1 - Introdução às normas de desempenho térmico	103
Seção 3.2 - Transferência de calor e comportamento dos materiais	115
Seção 3.3 - Cálculo de transmitância térmica	129
Unidade 4 Estudo da insolação	147
Seção 4.1 - Orientação e diagrama solar	149
Seção 4.2 - Diagrama solar e mascaramento	164
Seção 4.3 - Projeto de proteções solares	184

Palavras do autor

Bem-vindo à disciplina *Conforto ambiental: térmico*. Nas últimas décadas a demanda energética tem crescido devido ao estilo de vida atual e à maior intolerância ao desconforto térmico (LAMBERTS, 2014). Nesse sentido, o projeto e método construtivo das edificações são dois pontos importantes que devem ser considerados para contornar essa situação, já que podem afetar diretamente o consumo de energia e recursos naturais. Assim, nesta disciplina, você irá conhecer e aplicar os fundamentos e as técnicas para análise das condições térmicas do ambiente, para criação de projetos com conforto térmico em arquitetura e urbanismo.

Para isso, será necessário conhecer os fundamentos do conforto térmico para a arquitetura, além de compreender o clima brasileiro. Tendo em mente a diversidade climática brasileira, também conheceremos e aplicaremos estratégias bioclimáticas específicas para cada contexto, além de compreender em que clima cada uma deve ser aplicada. Na sequência, aprenderemos a avaliar a adequação ao conforto térmico de diferentes componentes das edificações de acordo com as normas de desempenho térmico brasileiras. Por fim, conheceremos e aplicaremos os fundamentos de insolação e sombra do ambiente para conforto ambiental térmico.

Assim, na Unidade 1, conheceremos os fundamentos do conforto térmico, bem como a relação da arquitetura com o clima. Também conheceremos a Carta Bioclimática brasileira, um importante manual que aborda as principais estratégias a serem adotadas para cada clima brasileiro.

Já na Unidade 2, prosseguiremos nosso aprendizado aprofundando no conhecimento de cada estratégia proposta pela Carta Bioclimática brasileira, de modo que passaremos pelo resfriamento evaporativo, umidificação, massa térmica, aquecimento solar, bem como pela ventilação natural.

Prosseguindo, na Unidade 3, conheceremos as normas de desempenho térmico (NBR 15220 e NBR 15575), assim como os processos físicos envolvidos para a sua compreensão (transferência de calor e comportamento dos materiais) e os cálculos necessários para a aplicação.

Finalizaremos com a Unidade 4, na qual desenvolveremos estudos de insolação por meio de diagramas solares. Esses diagramas permitirão o traçado de máscaras de sombra em determinados dias do ano, bem como projetos para proteção do excesso de insolação sobre os edifícios.

Então, que tal aprendermos a conhecer e respeitar as necessidades climáticas desse grande país? Vamos começar?

Relação entre arquitetura e clima

Convite ao estudo

Você já notou como nos últimos anos as notícias sobre desastres climáticos têm aumentado? Isso está acontecendo devido ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa que vêm causando alterações climáticas e impactando diversos pontos do planeta (IPCC, 2015). O motivo de tantas mudanças é o desmatamento e a falta de verde, assim como o atual modelo de desenvolvimento econômico e os altos padrões de consumo que adotamos. Então será que podemos fazer algo para solucionar esse problema?

Para encararmos esse desafio, o primeiro passo é conhecer os fundamentos do conforto térmico para a arquitetura e compreender o clima brasileiro. Para isso, nesta unidade, analisaremos o clima de uma cidade brasileira identificando as estratégias bioclimáticas que se aplicam a ela, e também avaliaremos o conforto térmico de ambientes internos de edificações, a partir da sensação de conforto de usuários.

Para a aplicação prática do conteúdo, consideraremos que você é sócio em um escritório de arquitetura dedicado à aplicação dos conceitos de conforto térmico em seus projetos. Sua equipe foi chamada para elaborar o projeto de *retrofit* de um edifício na sua cidade, onde passará a funcionar uma loja de decoração. Após a apresentação da proposta de adoção de estratégias passivas de condicionamento térmico na reforma, seu cliente fica muito animado. Então, como criar um ambiente agradável para esse clima? Quais serão as exigências dos usuários e que variáveis estarão envolvidas?

Para isso, na Seção 1.1, conheceremos o contexto energético mundial e, especificamente, brasileiro, e, também, compreenderemos a importância de considerar o clima no

momento do projeto arquitetônico. Assim, descobriremos o significado da sensação de conforto térmico e quais os mecanismos nosso corpo realiza para regular a sua temperatura; nesse contexto, conheceremos as variáveis climáticas e pessoais que influenciam no conforto térmico, e também os diferentes métodos para estimá-lo em quaisquer ambientes.

Já na Seção 1.2 conheceremos melhor os climas brasileiros e alguns conceitos essenciais para sua compreensão, como: escalas (macroclima, mesoclima e microclima) e variáveis climáticas (temperatura, vento, umidade), além de compreender a radiação eletromagnética e os fenômenos ondulatórios envolvidos.

Finalizaremos a unidade na Seção 1.3, conhecendo a Carta Bioclimática brasileira, sua história e objetivo do desenvolvimento, o seu método de aplicação, bem como uma breve apresentação das estratégias propostas neste manual.

Dessa forma, ao fim da unidade, você já terá a compreensão inicial dos climas brasileiros e das possíveis estratégias para alcançar o bem-estar térmico, beneficiando-se dos recursos naturais e, por consequência, evitando o uso do condicionamento artificial do ar. Que tal começarmos?

Seção 1.1

Fundamentos introdutórios de conforto térmico

Diálogo aberto

O gasto energético mundial tem crescido progressivamente e já preocupa muitos países; nesse sentido, é essencial considerar o clima ao projetar, aproveitando sempre os recursos naturais.

Como seu escritório tem a proposta de aplicar conceitos de conforto térmico em seus próximos projetos, surge a oportunidade de realizar um projeto de *retrofit* de um edifício na sua cidade e seu cliente concorda com a ideia de adotar estratégias passivas de condicionamento térmico na reforma.

Na tentativa de compreender o conforto do ambiente onde será feita a reforma, você decide levar a equipe a campo e colher algumas informações climáticas para calcular o conforto térmico, conforme aprenderemos na seção.

Após colher essas informações, você obtém os seguintes resultados:

- Temperatura do ar = 30 °C.
- Temperatura radiante média = 32 °C.
- Velocidade do ar = 0,08 m/s.
- Umidade relativa do ar = 31,9 %.

Tendo em vista as atividades envolvidas na loja de decoração, é necessária a presença de uma balconista para o atendimento ao público. Podemos estimar a sensação térmica dela na loja. Adotaremos para a atividade de balconista a vestimenta que inclui sutiã, calcinha, blusa feminina gola canoa, manga média, calça de trabalho (100% algodão) e sandálias de vinil. Também consideraremos que a loja será condicionada artificialmente, essa informação será necessária para podermos escolher o método de cálculo da sensação de conforto térmica mais indicado.

Para tanto, será necessário conhecer o significado de conforto térmico e termorregulação, além de compreender as variáveis que influenciam o conforto térmico de uma pessoa e os principais modelos para calcular o bem-estar térmico. Então, vamos calcular a sensação térmica da balconista usando o edifício na situação atual?

Contexto energético e relação entre projeto e clima

Segundo o relatório climático do IPCC (2015), o modelo atual de desenvolvimento está causando grande aumento na concentração dos gases de efeito estufa, o que por sua vez tem causado alterações climáticas em escala mundial. O relatório também deixa claro que os efeitos dessas mudanças estão causando impacto em todo o planeta, e que, se continuarmos a poluir nesse ritmo, esses impactos serão irreversíveis!

Apesar dessas notícias sobre os impactos climáticos serem muito divulgadas, raramente imaginamos que essas mudanças nos afetarão. Sempre pensamos que esses efeitos se darão em países longínquos, que nada tem a ver com a nossa realidade. Dessa maneira, vamos adiando uma mudança de atitude. Porém, se lembrarmos, em 2014, no Brasil, tivemos uma prova de como essas mudanças climáticas podem nos afetar. Enquanto no Sudeste do país tivemos temperaturas médias acima do esperado e uma seca histórica, no Sul houve um excesso de chuvas e temperaturas abaixo do normal (INPE; CPTEC, 2014). Então o que realmente está causando tudo isso?

O modelo atual de desenvolvimento econômico tem sido pensado no âmbito do lucro e de interesses pessoais, sendo raros os casos em que se pensa nos impactos climáticos e no racionamento de recursos. Alguns exemplos desse tipo de atitude são: o alto crescimento populacional sem planejamento, os altos padrões de consumo, a falta de planejamento das cidades, o consumo da terra e exploração das florestas (LAMBERTS, 2008).

Um exemplo do impacto do padrão atual de consumo é que: o gasto energético no mundo tem crescido ano a ano e já supera o crescimento populacional (PÉREZ-LOMBARD et al. 2008). No Brasil, a energia consumida pelos setores residencial, comercial e público representa quase metade da energia total consumida (BEN, 2014). Se pensarmos que nesses ambientes parte do consumo de energia é devido ao condicionamento artificial de ar, imagine o potencial de economia que projetos adequados ao clima significam!



Você já parou para pensar como nossos hábitos mudaram em comparação ao dos nossos avós? Hoje em dia, temos altos padrões de consumo, queremos que o ambiente esteja sempre na temperatura ideal, compramos muito mais do que realmente iremos consumir, além de sermos altamente dependentes da eletricidade. Tudo isso era muito diferente tempos atrás, os recursos eram difíceis de serem conseguidos e por isso eram valorizados; conseguir um copo de água, por exemplo, podia ser uma tarefa árdua para muitos, já que era comum que fosse trazida de locais distantes, com o uso de baldes, ou a recolhida de poços artesanais. Atualmente, usamos a energia elétrica de maneira corriqueira e, na maioria das vezes, não paramos para pensar de onde ela vem ou qual o custo ambiental que seu uso implica.

Definição de conforto térmico e termorregulação

O conforto térmico pode ser definido como “o estado da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 2013 apud LAMBERTS et al., 2011, p. 4). Agora, já parou para pensar sobre o que nos traz essa sensação de satisfação térmica?

O humano, diferente dos lagartos, por exemplo, tem a capacidade de regular a própria temperatura utilizando mecanismos reguladores involuntários e voluntários, não dependendo exclusivamente das variáveis climáticas, já que somos seres homeotermos. Então, como nosso corpo sabe quando usar esses mecanismos para aumentar ou diminuir nossa temperatura corporal?

Os termorreceptores estão incumbidos de avisar o nosso corpo sobre a necessidade de aumentar ou diminuir sua própria temperatura. São também os responsáveis pela sensação de frio ou de calor. Assim, apesar de ser incômodo sentir calor ou frio, é o meio de comunicarmos ao nosso corpo que mecanismos de controle da nossa temperatura corporal precisam ser ativados.

Desse modo, quando nosso organismo recebe a mensagem que estamos com frio, ele ativa imediatamente mecanismos involuntários, como: vasoconstrição periférica (pele esfria evitando perdas por convecção com o meio), arrepio (o movimento muscular aquece o corpo e a rugosidade evita perdas de calor) e o tremor (movimento muscular que aquece). Já quando sentimos calor os movimentos são outros, involuntariamente realizamos: vasodilatação periférica

(pele aquece evitando perdas por convecção com o meio) e o suor (perda de calor por evaporação) (LAMBERTS, 2014).

Nesse sentido, é possível descrever neutralidade térmica como:



O estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo seja trocado em igual proporção com o ambiente ao seu redor, não havendo nem acúmulo de calor e nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (LAMBERTS, 2011, p. 5).

Apesar de a condição de neutralidade térmica ser necessária para se sentir conforto térmico, esta não é suficiente, pois o usuário pode estar exposto à radiação assimétrica, ou seja, alguém pode estar em neutralidade térmica, mas ainda assim sentir calor ou frio em determinadas regiões do corpo (desconforto localizado).



Refleta

Além dos mecanismos involuntários, também recorremos a mecanismos conscientes, ou seja, voluntários para controlar nossa temperatura corporal. Eles podem ser instintivos ou até culturais. No caso do frio, procuramos: curvar o corpo (reduzindo a área de exposição ao frio), esfregar as mãos, realizar atividade física, ingerir bebida quente, além de usar vestimentas pesadas. Já no verão, buscamos: ficar na sombra, ingerir bebida gelada, procurar o contato com a água (como nadar ou tomar banhos frequentes), além da ventilação artificial (LAMBERTS, 2014). E você? Quais outras providências toma para resolver situações de frio ou calor?

Variáveis de conforto térmico

As variáveis que influenciam o conforto térmico de um indivíduo se dividem em dois grupos: variáveis climáticas e variáveis pessoais. As variáveis climáticas são relativas ao ambiente em que o usuário insere-se. Estas, na maioria das vezes, estão fora do controle do indivíduo e são obtidas por meio de medição. Já as variáveis pessoais são aquelas relativas ao usuário e geralmente podem ser controladas por ele. No Quadro 1.1, estão listadas variáveis utilizadas para o cálculo de sensação térmica.

Quadro 1.1 | Variáveis climáticas e pessoais de conforto térmico

Variáveis ambientais	Variáveis humanas
Tar: Temperatura do ar	MET: Metabolismo
Trad: Temp. radiante média	CLO: Vestimenta
Vel: Velocidade do ar	
UR: Umidade relativa do ar	

Fonte: elaborado pela autora.

É importante ressaltar que variáveis como: idade, sexo, altura, etnia, entre outras, também podem influenciar a percepção térmica do usuário, mas como são de difícil quantificação não são consideradas em cálculos de sensação térmica.

As variáveis climáticas serão descritas com detalhe na próxima seção, por ora nos aprofundaremos nas variáveis pessoais. O metabolismo representa o calor gerado pelo nosso organismo ao realizar determinadas atividades físicas ou metabólicas. Note, na Tabela 1.1, que mesmo em estado de repouso nosso corpo sempre está gerando calor, por exemplo, sentado produzimos 1 met, já em atividades mais pesadas, como caminhando a 5 km/h, o metabolismo é mais alto (3.4 met). Isso significa que, quando estamos caminhando, sentimos mais calor do que sentados, mesmo que as condições ambientais sejam iguais.

Tabela 1.1 | Metabolismo para diferentes atividades

Atividade	(met)
Repouso	
Dormindo	0.7
Reclinado	0.8
Sentado, quieto	1
Em pé, sem esforço	1.2
Andando em superfície plana e sem carga	
• 2 km/h	1.9
• 3 km/h	2.4
• 4 km/h	2.8
• 5 km/h	3.4

Trabalho doméstico	
Limpendo a casa	1.7 a 3.4
Cozinhando	1.4 a 2.3
Lavando louça, em pé	2.5
Lavando e passando a ferro	2.1 a 3.8
Fazendo compras	1.4 a 1.8
Trabalho escritório	
Datilografando	1.2 a 1.4
Desenhando	1.1 a 1.3
Outras atividades	
Balconista	2
Professor	1.6
Borracheiro	2.2 a 3.0
Laboratorista	1.4 a 1.8
Trabalho leve em bancada e sentado	1.1

Fonte: adaptada de Ashrae (1997) apud Ruas (2002, p. 113-117) e ISO 8996 (1990) apud Ruas (2002, p.113-117).

Já o isolamento da vestimenta (clo) representa a resistência térmica das roupas, ou seja, significa o quanto cada peça de roupa é capaz de reduzir as perdas de calor do homem para o meio ambiente, sendo que, quanto maior o clo, menor as perdas de calor. Por exemplo, no inverno normalmente usamos muitas peças de roupas, assim não perdemos calor para o meio. Já no verão, quando queremos nos refrescar, usamos poucas peças de roupa e sempre tecidos leves, dessa forma, diminuímos o isolamento das vestimentas e perdemos mais calor para o meio.

Para estimar o isolamento da vestimenta, é necessário somar o isolamento de cada peça de roupa utilizada pelo indivíduo no momento, a Tabela 1.2 indica o isolamento (clo) de algumas peças de vestimentas.

Tabela 1.2 | Resistência térmica das vestimentas para diferentes peças de roupa

Vestimenta	Material de fabricação	Clo
Roupa de baixo		
Sutiã		0.01
Calcinha	Nylon	0.03
Cueca	Poliéster, algodão	0.03
Cueca	Algodão	0.04

Camisas, camisetas e blusas		
Camisa com gola, manga longa	Algodão	0.33
Camisa com gola, manga longa	65% poliéster, 35% algodão	0.25
Camisa com gola, manga longa	80% algodão, 20% poliéster	0.34
Camisa com gola, manga curta	Algodão	0.24
Camisa esporte, manga curta	Algodão	0.17
Camisa esporte, sem manga	Algodão	0.18
Blusa feminina gola canoa, manga média	65% poliéster, 35% algodão	0.27
Calças		
Calça folgada	Algodão	0.22
Calça folgada	50% poliéster, 50% lã	0.28
Calça justa	Algodão	0.18
Calça de trabalho	Algodão	0.24
Outros		
Meia grossa, 3/4	Poliamida	0.11
Meia 3/4	75% acrílico, 25% nylon	0.03
Sapatos		0.05
Sandálias, vinil		0.02
Short	Algodão	0.06
Saia até o tornozelo	Algodão	0.23
Saia até o joelho	Algodão	0.17
Vestido até o joelho, sem manga, gola esporte	50% lã, 50% poliéster	0.27
Jaqueta de trabalho	Algodão	0.26

Fonte: adaptada de ISO 9920 (1995) apud Ruas (2002, p. 129-132).



Pesquise mais

Como explicamos, o conforto térmico depende de variáveis físicas, climáticas e pessoais, mas já notou que quando estamos nos divertindo sentimos menos desconforto térmico do que quando estamos trabalhando, por exemplo? Isso ocorre porque o conforto também é influenciado por variáveis psicológicas (expectativa e experiência térmica e a *Alliesthesia*). *Alliesthesia* é um termo inglês que se refere à porção afetiva do bem-estar térmico (PARKINSON; DEAR; CANDIDO, 2015; CÂNDIDO, et al., 2010). Que tal pesquisar mais sobre *Alliesthesia* térmica?

Modelos de conforto térmico

Para prever o conforto térmico dos usuários, foram desenvolvidos vários modelos de conforto térmico envolvendo as variáveis citadas anteriormente. Entre eles, os mais usados na arquitetura são o método Fanger e o método adaptativo.

Método Fanger

O método Fanger, também conhecido como método estático, é ideal para prever o conforto térmico em ambientes artificialmente climatizados, já que foi desenvolvido por Fanger a partir de experimentos realizados em ambientes com as variáveis ambientais controladas com indivíduos treinados.

Fanger criou uma escala de sensação térmica conhecida como Voto Médio Estimado (VME), que varia de -3 (muito frio) a 3 (muito calor), como se vê no Quadro 1.2.

Quadro 1.2 | Relação entre o Voto Médio Estimado (VME) e a sensação térmica

VME	-3	-2	-1	0	1	2	3
Sensação térmica	Muito frio	Frio	Pouco frio	Neutro	Pouco calor	Calor	Muito calor

Fonte: adaptado de Fanger (1970) apud Ruas (2002, p. 3).

Para calcular o VME, Fanger elaborou a Equação do Conforto, e também tabelas que substituem o uso da equação. As variáveis adotadas para esse cálculo são: atividade realizada pelo usuário, resistência térmica do vestuário, temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante.



Exemplificando

Além do cálculo do Voto Médio Estimado por meio da fórmula do conforto de Fanger, muitos programas e sites são utilizados para realizar esse cálculo de forma rápida e prática. Aqui utilizaremos o site da universidade de Berkeley para realizar procedimento. Vamos ver como se faz para calcular o Voto Médio Estimado (VME), também conhecido pela sigla inglesa PMV (*Predicted Mean Vote*)?

Variáveis climáticas:

Tar – Temperatura do ar (*air temperature*) = 15 °C.

Trad – Temperatura radiante média (*mean radiant temperature*) = 17 °C.

Vel – Velocidade do ar (*air speed*) = 0,1 m/s.

UR – Umidade relativa do ar (*humidity*) = 50%.

Variáveis pessoais:

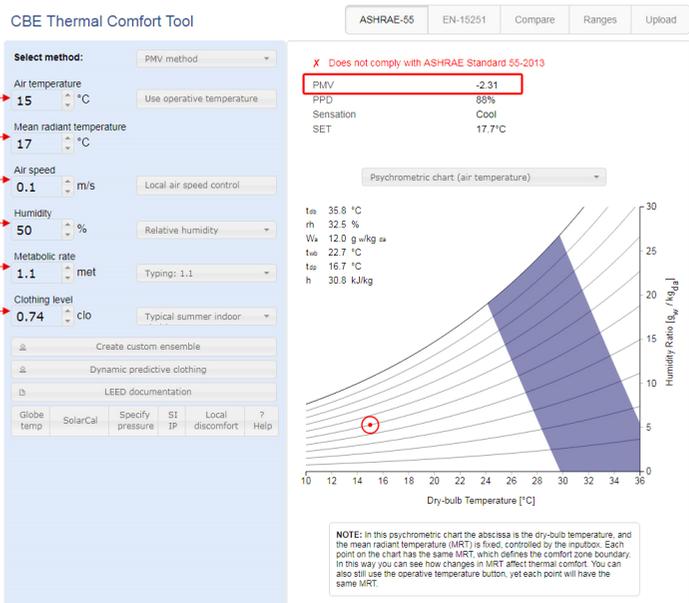
MET – Metabolismo (*metabolic rate*) = 1,1 (desenhando).

CLO – Vestimenta (*clothing level*) = 0,74 (cueca de algodão, camisa com gola manga longa de algodão, calça folgada de algodão, meia grossa 3/4, sapato).

1. Acesse o site disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 11 out. 2017.

Preencha os dados conforme a Figura 1.1.

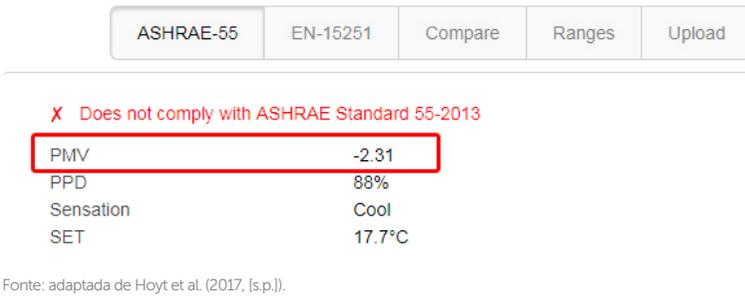
Figura 1.1 | Vista geral do site para cálculo do PMV com a indicação das variáveis a serem preenchidas e destaque para o PMV resultante



Fonte: adaptada de Hoyt et al. (2017, [s.p.]).

2. Após o preenchimento, o valor do Voto Médio Estimado (ou PMV) é automaticamente calculado. O PMV é dado no canto superior direito da página, contornado em vermelho na Figura 1.2. Nesse caso, o PMV é de -2,31, o que significa a sensação térmica frio.

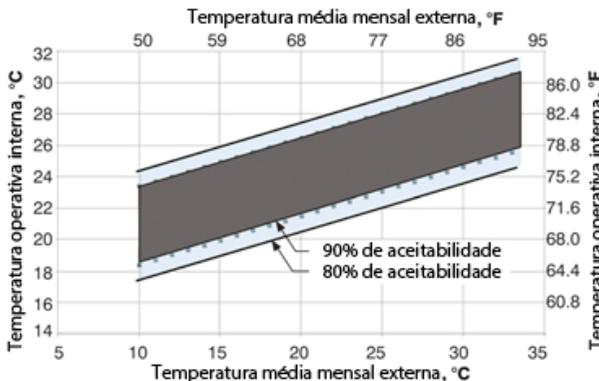
Figura 1.2 | Vista aproximada do site para cálculo do PMV com destaque para o PMV resultante



Método adaptativo

O segundo método que abordaremos foi desenvolvido inicialmente por Humphreys (1975, apud DEAR; BRAGER, 1998), sendo a versão atual a continuação da desenvolvida por Dear e Brager (1998). Esse método é indicado para estimar o conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados. Nesse estudo, foram reunidos dados de pesquisas do mundo inteiro e assim foi possível relacionar a temperatura operativa com temperatura externa efetiva, determinando uma faixa de conforto térmico para 90% e outra para 80% de aceitabilidade, como se vê na Figura 1.3. Dessa forma, se o encontro das temperaturas operativa interna e média mensal externa acontecer dentro da faixa de conforto térmico, significa que o usuário está confortável e, caso esteja fora da faixa, está em desconforto.

Figura 1.3 | Limites aceitáveis para a temperatura operativa, segundo o modelo adaptativo, para a velocidade do ar de até 0,3m/s



Fonte: adaptada de Ashrae (2013, p. 22).



Compreender os métodos de predição do conforto térmico e quando cada um deve ser aplicado é parte importante para entendermos a relação entre o clima e o homem. Então vamos relembrar os métodos estudados?

Voto Médio Estimado (VME): criado por Fanger e adequado para ambientes condicionados artificialmente.

Método adaptativo: desenvolvido inicialmente por Humphreys e na sequência por Dear, adequado para ambientes naturalmente ventilados.

Por meio desses novos conhecimentos, você já começa a compreender o contexto climático atual e os conceitos básicos do conforto térmico. Agora, já tem consciência do potencial da arquitetura para a economia de recursos, além de compreender o significado de conforto térmico, de termorregulação e dos principais modelos de conforto térmico existente, conhecendo as variáveis que influenciam o bem-estar térmico.

Sem medo de errar

Preocupado com as mudanças climáticas que vêm ocorrendo atualmente, seu escritório se propõe a aplicar estratégias bioclimáticas em um novo projeto de *retrofit* de um edifício que passará a ser uma loja de decoração. Então surge a dúvida: como conhecer o clima local e o conforto térmico atual? Assim, fica decidido que é necessário medir algumas variáveis climáticas no local e calcular a sensação térmica dos usuários; nesse caso, como o edifício será condicionado artificialmente, utilizaremos o método Fanger. Vamos ver como se faz?

Variáveis climáticas (dadas):

Temperatura do ar = 30 °C.

Temp. radiante média = 32 °C.

Velocidade do ar = 0,08 m/s.

Humidade relativa do ar = 31,9%.

1. Estimar o metabolismo por meio da Tabela 1.1. Para a atividade de balconista, o metabolismo é 2 met.
2. Então se estima a vestimenta usando a Tabela 1.2. Dessa forma, verifica-se os seguintes valores para cada peça: sutiã=

0,01, calcinha = 0,03 clo, blusa feminina gola canoa manga média = 0,27 clo, calça de trabalho (100% algodão) = 0,24 clo, sandálias de vinil = 0,02 clo. Assim, somando a resistência de cada peça, a resistência da vestimenta resulta em 0,57 clo.

3. Na sequência, deve-se preencher as variáveis climáticas e humanas no site a seguir. Disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 11 out. 2017.
4. Por fim, é necessário fazer a leitura do Voto Médio Estimado (ou PMV), que é automaticamente calculado após o preenchimento dos dados. O PMV é dado no canto superior direito da página. Nesse caso, o PMV é de 2.12, o que significa a sensação térmica calor.

Avançando na prática

Cálculo do conforto adaptativo

Descrição da situação-problema

Você trabalha em uma consultoria que desenvolve projetos e adaptações em edificações para obtenção de certificados de sustentabilidade e foi procurado por um cliente que é proprietário de um restaurante para uma consultoria de conforto térmico. Ele está em dúvida se o salão do refeitório está termicamente agradável para os seus clientes ou se precisaria passar por uma reforma. Após conhecer o ambiente, você nota que não há condicionamento artificial nele e que ele é ventilado naturalmente. Assim, fica claro que será necessário aplicar o modelo adaptativo de conforto térmico.

Nesse sentido, em uma segunda visita você faz algumas medições de manhã e à tarde, além de recorrer a dados climáticos de uma estação próxima, e então obtém os seguintes resultados: temperatura média mensal = 32 °C, temperatura operativa interna do ambiente pela manhã = 23 °C e temperatura operativa interna do ambiente pela tarde = 28 °C. Considerando essas informações, qual resposta você daria ao seu cliente?

Resolução da situação-problema

Para avaliar o conforto térmico do ambiente, será necessário calcular a sensação térmica pela manhã e pela tarde. Então vejamos o passo a passo:

1. Encontrar no gráfico da Figura 1.3 o ponto de encontro da temperatura operativa pela manhã.

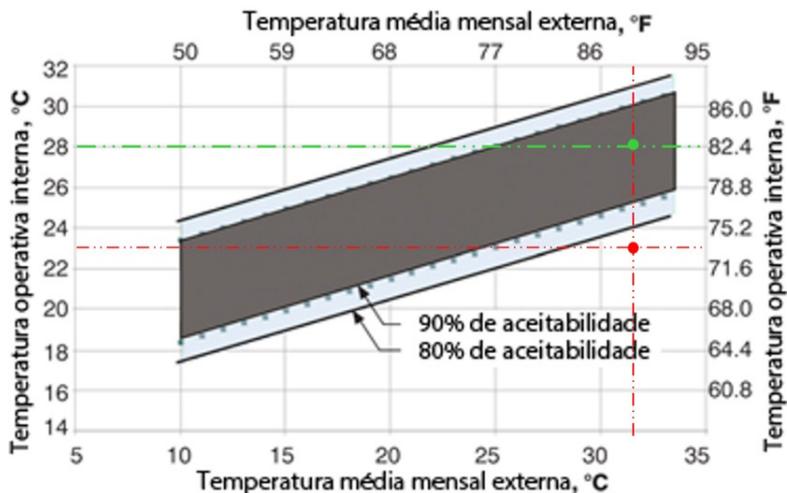
2. Então se verifica que o ponto encontrado não está na zona de conforto térmico (ponto vermelho na Figura 1.4), portanto a sala não está confortável durante a manhã.

3. Na sequência, repetimos o primeiro passo com os dados da tarde.

4. Assim se verifica que a sala está confortável durante a tarde já que o ponto encontrado está na zona de conforto térmico (ponto verde na Figura 1.4).

5. Por fim, é possível concluir que o conforto térmico é encontrado apenas pela tarde. Dessa forma, pode-se aconselhar ao seu cliente que, como o ambiente não estava confortável o dia todo, seria necessário realizar outras medições em diferentes épocas do ano para avaliar o conforto apropriadamente, para então concluir se o prédio precisa de uma intervenção nesse sentido.

Figura 1.4 | Pontos da manhã e tarde projetados sobre os limites aceitáveis para a temperatura operativa segundo o modelo adaptativo



Fonte: adaptada de Ashrae (2013, p. 22).

Faça valer a pena

1. As mudanças climáticas têm se intensificado nos últimos anos e vêm causando mais desastres naturais. A seguir, o trecho de uma matéria publicada em *R7* é um exemplo dessas mudanças:

“Milhões de paulistas enfrentaram, ao longo de 2014, torneiras secas e falta de explicação do governo estadual para um problema que, segundo especialistas, poderia ter sido evitado com planejamento adequado. A aposta do Estado era de que as chuvas, a partir de setembro, resolveriam a crise nas represas que abastecem a Grande São Paulo. Mas, até dezembro, isso não aconteceu e a sétima maior aglomeração urbana do planeta começa o próximo ano sem a certeza de que terá água suficiente para consumo” (MELLIS, 2014, [s.p.]).

Avalie as afirmativas a seguir:

I – Essas mudanças climáticas têm sido causadas pelo modelo atual de desenvolvimento econômico.

Porque

II – Algumas atitudes que provocam o aumento da emissão dos gases de efeito estufa são: os altos padrões de consumo e a falta de planejamento das cidades.

Após a análise das afirmativas, assinale a alternativa correta.

- a) Apenas a afirmativa I está correta.
- b) Ambas as afirmativas são verdadeiras e a afirmativa I justifica a II.
- c) Ambas as afirmativas são verdadeiras, mas uma não justifica a outra.
- d) Apenas a afirmativa II está correta.
- e) Ambas as afirmativas são verdadeiras e a afirmativa II justifica a I.

2. Você está prestando uma consultoria de conforto térmico para uma empresa e precisa estimar a sensação térmica em um laboratório de computação condicionada artificialmente, então você faz algumas medições, levantando dados climáticos e dos usuários. Feito isso, precisa decidir qual modelo de conforto usar nessa situação, então procura um amigo buscando um conselho.

Então qual seria a dica correta para essa situação?

- a) O melhor modelo para essa situação seria o Fanger, pois é ideal para ambientes condicionados artificialmente.
- b) O melhor modelo para essa situação seria o adaptativo, pois é ideal para locais ventilados naturalmente.
- c) O melhor modelo para essa situação seria o adaptativo, pois é ideal para ambientes condicionados artificialmente.
- d) O melhor modelo para essa situação seria o Fanger, pois é ideal para locais ventilados naturalmente.
- e) Nessa situação, seria necessário fazer uma simulação para prever o conforto térmico.

3. Analise as afirmativas, a seguir, sobre as variáveis de conforto térmico:

I – As variáveis que influenciam o conforto térmico dividem-se em climáticas e humanas.

II – A resistência térmica das vestimentas (clo) representa o quanto cada peça de roupa é capaz de aumentar as perdas de calor do homem para o meio ambiente.

III – O metabolismo representa o calor gerado pelo nosso organismo ao realizar determinadas atividades físicas ou metabólicas.

Considerando as afirmativas apresentadas anteriormente, qual alternativa apresenta apenas afirmativas corretas?

- a) I e II, apenas.
- b) II e III, apenas.
- c) I apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) I, II e III.

Seção 1.2

Arquitetura e clima

Diálogo aberto

Na seção anterior você iniciou a compreensão do conforto térmico de um antigo edifício de sua cidade, que será alvo de um *retrofit*. Para isso foi necessário compreender o que é o conforto térmico e quais variáveis influenciam a sua percepção, além disso também aprendemos a calcular o conforto térmico para dadas situações, utilizando dois métodos, o modelo Fanger e o adaptativo.

Agora você já pode compreender como é o conforto térmico do prédio em um dia e em um dado momento, mas também é necessário compreender o clima nos outros dias do ano antes de pensar no projeto. Nesse sentido, sua equipe decide analisar as normais climatológicas da cidade para conhecer as exigências térmicas e estratégias recomendadas para o clima da cidade.

Então, o que seriam normais climatológicas? Onde podemos encontrar esses dados e como interpretá-los? Para sanar todas essas dúvidas, primeiramente será necessário compreender o que é o clima e também o que são escalas climáticas. Também precisaremos ter conhecimento da definição de algumas variáveis climáticas como: temperatura, vento, umidade, radiação eletromagnética e dos fenômenos ondulatórios. Só então passaremos a analisar as normais climatológicas. Que tal começarmos?

Não pode faltar

Como vimos na seção anterior, conhecer as variáveis ambientais de um local é de suma importância para se pensar no conforto térmico. Até agora vimos algumas variáveis importantes para se estimar o conforto térmico em um dado momento, mas, para compreender as exigências térmicas de uma determinada região ao longo do ano, precisamos conhecer o comportamento das variáveis climáticas em todas as estações.

Já notou como muitas vezes quando vamos da cidade para o campo sentimos grande diferença climática, ainda que em uma

mesma cidade? Geralmente, no campo temos menos obstruções e, portanto, velocidades do ar mais altas, além disso a umidade também é maior por conta da alta densidade da vegetação. Assim, além do clima da região (macroclima), também é necessário observarmos outras escalas climáticas a fim de compreender as exigências de determinado local, sendo elas: macroclima, mesoclima e microclima.

Escalas climáticas

O macroclima é importante para conhecermos características gerais de uma região, como: a insolação, temperaturas, ventos, precipitações, entre outros. Nessa escala observamos uma grande região, como uma cidade ou conjunto de cidades. O seu uso não é conveniente para compreender as exigências climáticas próximas do edifício.

Já o mesoclima leva em consideração aspectos locais, como: a presença de vegetação, obstáculos para ventilação, a topografia e densidade das construções. Essa escala é importante para compreender a diferença entre o clima na estação climática e no local analisado, sendo tão grande quanto um bairro, por exemplo.

Por fim, o microclima se refere à escala do edifício. Quando construímos, temos a chance de modificar o clima nessa escala, o que pode influenciar o mesoclima e macroclima de maneira positiva ou negativa. Podendo, por exemplo, melhorar a qualidade do microclima ao plantar muitas árvores, favorecer a permeabilidade dos ventos, criar elementos de sombra, evitar pavimentar toda área do terreno.

Variáveis climáticas

Geralmente, quando pensamos em clima, a primeira variável que nos vem à mente é a temperatura do ar (também conhecida como temperatura de bulbo seco), já que é a mais divulgada. Ela resulta dos fluxos de massas de ar e da radiação solar no local (LAMBERTS et al., 2014) e é medida em grau Celsius (°C), Fahrenheit (°F) ou Kelvin (K), no Brasil adotamos o grau Celsius.

Já os ventos, ou seja, velocidade do ar (m/s), devem-se à distribuição da pressão do ar no globo ao longo das estações, ao

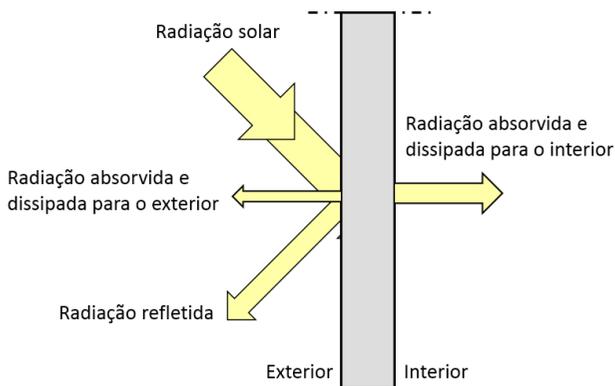
movimento de rotação da terra, à variação de temperatura do solo e mares ao longo do dia, e também à topografia (GIVONI, 1992). Esse fenômeno é altamente influenciado por elementos do entorno, como topografia, densidade e altura das construções, rugosidade do terreno e obstruções como construções ou vegetação. Sendo assim, tem grande oscilação entre os valores encontrados para o macroclima e microclima, tanto na velocidade quanto na sua direção.

A umidade relativa do ar (%) representa o percentual de umidade presente no ar em relação ao máximo de umidade que o ar é capaz de acumular à determinada temperatura. Esse é resultado da evaporação da água de lagos, rios e mares, além da evapotranspiração dos vegetais (transpiração das plantas).

A radiação solar é uma onda eletromagnética que tem origem nos raios solares, não precisando de matéria para se propagar, ou seja, a radiação se propaga no vácuo (no espaço) e na matéria (por exemplo, ar) quando entra na atmosfera terrestre. A chegada da radiação eletromagnética na superfície terrestre pode ser direta ou difusa e são medidas em Watts por metro quadrado (W/m^2). A primeira representa os raios que incidem diretamente na superfície terrestre sem obstáculos, já a segunda chega à superfície terrestre após ser dispersada por partículas suspensas no ar, como as nuvens. Assim, em dias ensolarados temos a predominância da radiação direta, já em dias nublados é predominante a radiação difusa.

Quando uma onda eletromagnética incide em uma superfície opaca (como paredes e coberturas), parte dela será refletida e parte será absorvida, assim, a soma das parcelas absorvida e refletidas equivale ao total de radiação incidida. A quantidade dessa energia que será absorvida depende de uma propriedade do material, que é chamada de absorvância e pode ser encontrada na norma NBR 15220; veremos esses valores na Unidade 3. A parcela absorvida, por sua vez, será dissipada para o interior e também para o exterior (ver Figura 1.5). A quantidade de energia que será dissipada em cada direção dependerá de fatores climáticos e das características do material que compõe a superfície em questão.

Figura 1.5 | Fenômenos ondulatórios da radiação solar sobre superfícies (ou fechamentos) opacas



Fonte: adaptada de Frota e Schiffer (2001, p. 42).



Assimile

O primeiro passo para analisar o clima de um local é compreendermos o significado das variáveis climáticas. Vamos relembrar as variáveis estudadas:

Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) = temperatura das massas de ar.

Velocidade do ar (m/s) = velocidade do movimento de massas de ar.

Umidade relativa do ar (%) = percentual de umidade presente no ar com relação ao máximo de umidade possível a uma determinada temperatura.

Intensidade de radiação (W/m^2) = refere-se à radiação eletromagnética proveniente do sol que atinge a superfície terrestre. Sendo radiação direta ou difusa.

Normais climatológicas

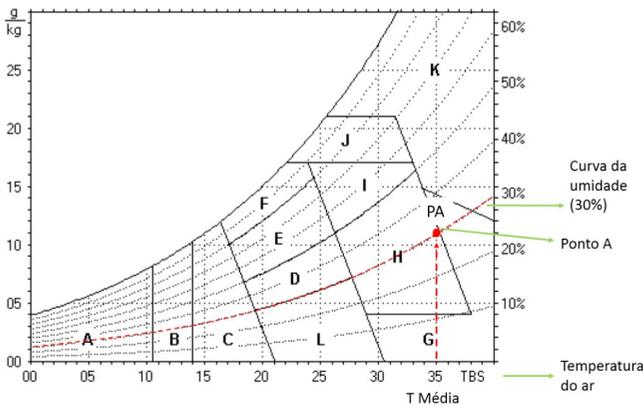
As variáveis climáticas são medidas em estações climáticas e representam uma média mensal de registros de vários anos. Esses arquivos são chamados de normais climatológicas, as variáveis registradas diferem de estação para estação, podemos apontar como as principais: a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, direção dos ventos, precipitação, nebulosidade e horas de sol.



Conhecer as normais climáticas de um local é essencial para compreender o macroclima de uma região. Para encontrar esses dados, primeiramente temos que buscar a estação climática mais próxima, e então nos informar sobre como fazer para obter os dados. Algumas estações divulgam esses dados on-line (Por exemplo, a estação disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/base.html>>. Acesso em: 3 nov. 2017), já em outras é necessário fazer uma requisição (Por exemplo, a estação disponível em: <http://www.estacao.iag.usp.br/so_dados.php>. Acesso em: 3 nov. 2017). Então que tal pesquisar esses dados da cidade onde você mora?

A análise do clima de uma cidade pode ser feita de muitas maneiras a fim de identificar as exigências locais relativas ao conforto térmico. Entre elas, podemos citar: o uso de programas específicos, como: o *Climate Consultant* (MILNE, 2016) e *Analysis Bio* (LABEE, 2014); além desses, também é possível utilizar as normas vigentes (no caso do Brasil, a ABNT NBR 15220/2005); ou alguns métodos manuais de análise climática (Planilha de Mahoney e Carta de Givoni – Figura 1.6).

Figura 1.6 | Carta de Givoni



Estratégias recomendadas:

- A – zona de aquecimento artificial (calefação);
- B – zona de aquecimento solar da edificação;
- C – zona de massa térmica para aquecimento;
- D – zona de conforto térmico (baixa umidade);
- E – zona conforto térmico pleno;
- F – zona de desumidificação (renovação de ar);
- G + H – zona de resfriamento evaporativo;
- H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
- I + J – zona de ventilação;
- K – zona de refrigeração artificial;
- L – zona de umidificação do ar.

Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).



Vamos ver uma aplicação da Carta de Givoni para um mês?

1. Pesquise as seguintes variáveis climáticas para o mês em questão: temperatura média mensal, temperatura média mínima mensal, temperatura média máxima mensal e umidade relativa média mensal. Para esse exemplo, vamos supor os seguintes valores:

Temperatura média mensal= 32 °C.

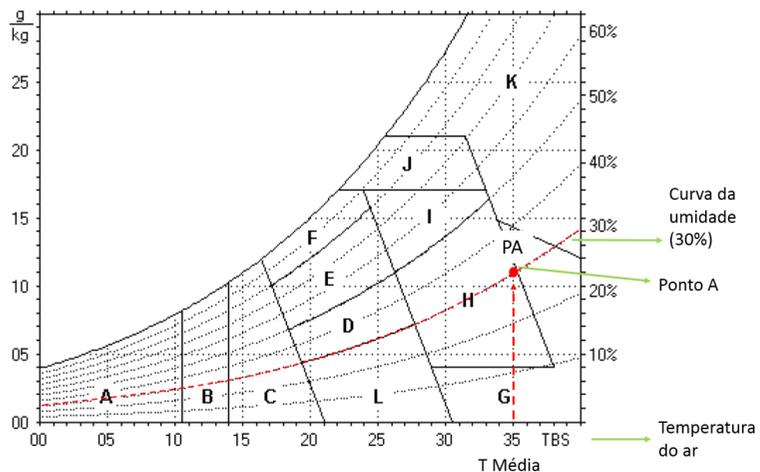
Temperatura média mínima mensal= 35 °C.

Temperatura média máxima mensal= 38 °C.

Umidade relativa média mensal= 60%.

2. Então trace uma linha de apoio a partir da temperatura média mensal até encontrar a curva da umidade relativa média mensal. Assim encontramos o ponto A (Figura 1.7).

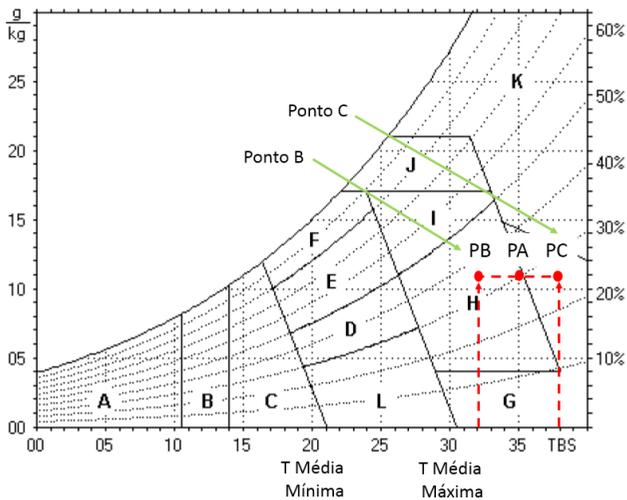
Figura 1.7 | Carta de Givoni com ponto A traçado



Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

3. Em seguida, trace uma linha horizontal a partir do ponto A e localize o ponto de encontro das temperaturas média, mínima e máxima mensais com essa linha. Assim encontramos os pontos B e C, como podemos ver na Figura 1.8.

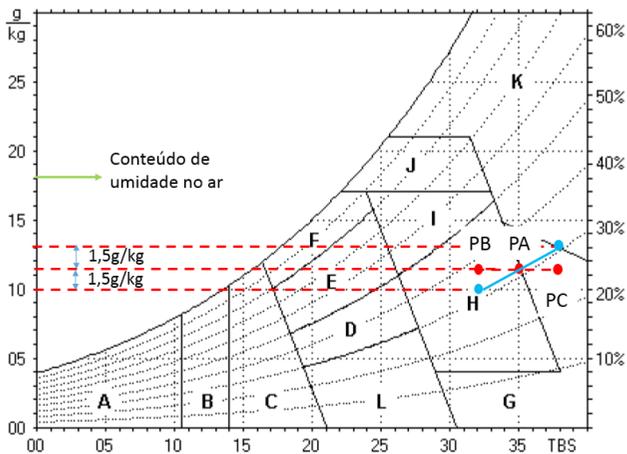
Figura 1.8 | Carta de Givoni com pontos B e C traçados



Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

4. Então é considerada uma variação no conteúdo de água presente no ar que ocorre ao longo do dia, para o Brasil se considera 1,5 g/kg, para mais e para menos. Assim do ponto PB é subtraído 1,5 g/kg e ao ponto PC é adicionado 1,5 g/kg. Ligando esses novos pontos, traçamos a linha que representa o mês em questão (Figura 1.9).

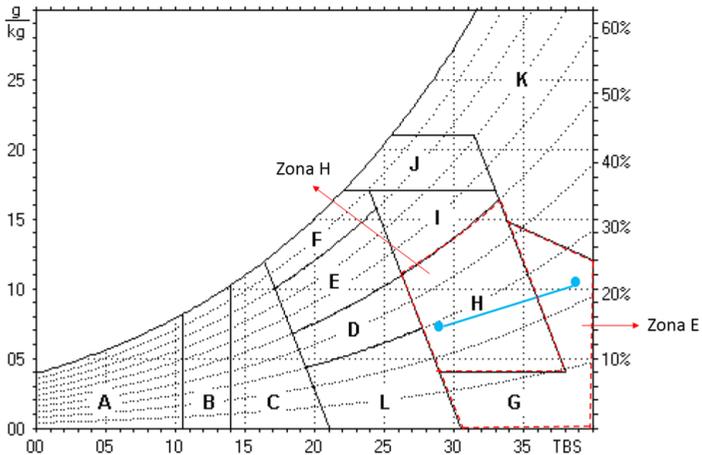
Figura 1.9 | Carta de Givoni com reta referente ao mês analisado traçada



Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

5. Então identificamos em quais zonas a linha se encontra, no exemplo a linha se encontra nas zonas H e G (Figura 1.10). Sendo assim, a estratégia recomendada para esse mês seria o resfriamento evaporativo.

Figura 1.10 | Carta de Givoni com destaque para as zonas bioclimáticas



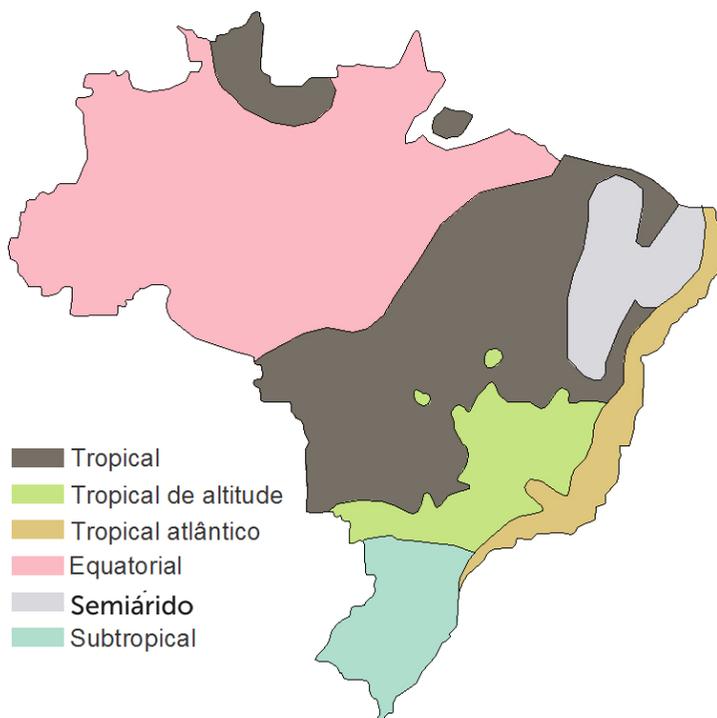
Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

Para avaliar o clima do ano todo, o procedimento é repetido com cada mês e então é analisado o percentual do comprimento das linhas que se encontram em cada zona da carta. Assim, é possível identificar as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para diversos climas.

Clima brasileiro

O clima brasileiro é dividido em seis regiões, sendo eles: tropical, tropical de altitude, tropical atlântico, equatorial, semiárido e subtropical, (Figura 1.11). Vamos conhecê-los?

Figura 1.11 | Mapa indicando as regiões climáticas brasileiras



Fonte: adaptada de Lamberts (2013, p. 82).

O clima tropical é quente o ano todo, sendo o verão chuvoso e o inverno seco. Na região de clima tropical, as temperaturas médias são de 24 °C, com pluviosidade de 1000 mm a 1500 mm ao ano. Uma cidade representativa desse clima é Cuiabá.

Já o clima tropical de altitude é característico da região Sudeste, onde o inverno é seco e ameno e o verão chuvoso com temperaturas médias e altas. Nessa região, as temperaturas médias variam entre 17 °C e 22 °C, com pluviosidade de 1000 mm a 1800 mm ao ano, ou seja, quantidade de chuvas próxima do clima tropical.

O clima tropical atlântico ocorre no litoral do país e é caracterizado pela ocorrência de chuvas o ano todo, com inverno ameno e verão quente. Nesse clima, as temperaturas médias anuais giram em torno dos 25 °C, com pluviosidade de 1200 mm.

Já o clima subtropical é caracterizado por temperaturas baixas (abaixo de 20 °C) com inverno rigoroso, podendo-se registrar

ocorrências de neve; além disso, as chuvas bem distribuídas (1000 mm a 1500 mm ao ano). Esse clima ocorre no Sul do país.

Caracterizado por chuvas abundantes o ano todo (2500 mm ao ano), o clima equatorial ocorre na região da Amazônia, apresentando temperaturas elevadas com médias entre 24 °C e 27 °C.

Por fim, o clima semiárido ocorre no polígono da seca (principalmente no Nordeste), sendo o clima mais seco do país (pluviosidade de 750 mm ao ano). Também é caracterizado por altas temperaturas sem um inverno marcado (médias entre 26 °C e 28 °C).



Refleta

Agora que conhece os climas brasileiros e suas características você já é capaz de compreender o clima de várias regiões. Como vimos, o Brasil possui uma grande variedade climática, e alguns de seus climas possuem características muito diferentes de outros. Então, qual o clima da região onde você mora? Que tal comparar esse clima com um clima diferente do seu? Por exemplo, se você mora em uma região de clima quente, compare-o com um clima frio, e vice-versa.

Agora que já compreende as escalas e variáveis climáticas (temperatura, vento, umidade, radiação) você é capaz de analisar as exigências climáticas para o conforto térmico em diversas cidades utilizando as normais climatológicas. Além disso, você também conhece as principais características dos climas brasileiros e assim tem uma percepção maior das necessidades de cada região do país.

Sem medo de errar

Antes de iniciar o projeto de *retrofit*, sua equipe decidiu analisar as normais climatológicas da cidade para descobrir quais as estratégias de conforto térmico recomendadas para a região. Então, vamos ver como se faz?

1. Pesquise as normais climáticas da sua cidade.
2. Faça uma tabela levantando as seguintes variáveis climáticas para cada mês do ano: temperatura média mensal, temperatura média mínima mensal, temperatura média máxima mensal e umidade relativa média mensal.

3. Primeiramente, encontre a linha referente ao mês de janeiro. Para isso, trace uma linha vertical de apoio a partir da temperatura média mensal até encontrar a curva da umidade relativa média mensal (do mês em questão).
4. Então trace uma linha horizontal a partir do ponto A e localize o ponto de encontro das temperaturas média mínima e máxima mensais com essa linha (do mês em questão).
5. Na sequência considere uma variação no conteúdo de água presente no ar. Assim, do ponto PB é subtraído 1,5 g/kg e ao ponto PC é adicionado 1,5 g/kg. Ligando esses novos pontos é traçada a linha que representa o mês de janeiro.
6. Então são repetidos os passos 3, 4 e 5 para todos os meses do ano.
7. Depois é identificado o percentual do comprimento das linhas que se encontram em cada zona da carta. Assim, é possível identificar as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para diversos climas.

Avançando na prática

Análise climática de uma cidade

Descrição da situação-problema

Seu escritório é chamado por uma equipe de arquitetos para realizar consultoria de conforto térmico para um projeto que está sendo desenvolvido. Eles querem saber quais as estratégias mais recomendadas para se atingir o conforto térmico em seu projeto. Como o projeto será em uma cidade diferente da sua, como conhecer as exigências climáticas locais? Para isso, será preciso levantar as normais climáticas e realizar a avaliação do clima por meio da carta bioclimática. Então, quais seriam os passos para isso? Além disso, como comparar as estratégias recomendadas da sua cidade com a cidade em questão?

Resolução da situação-problema

Para conhecer as melhores estratégias para o clima em questão, deverá seguir os seguintes passos:

1. Pesquise as normais climáticas da nova cidade.

2. Confeccione uma tabela com as seguintes variáveis climáticas para todos os meses do ano: temperatura média mensal, temperatura média mínima mensal, temperatura média máxima mensal, e umidade relativa média mensal.
3. Então, encontre a linha referente ao mês de janeiro. Comece traçando uma linha vertical de apoio a partir da temperatura média mensal até encontrar a curva da umidade relativa média mensal (do mês em questão).
4. Em seguida trace uma linha horizontal a partir do ponto A e localize o ponto de encontro das temperaturas média mínima e máxima mensais com essa linha (do mês em questão).
5. Depois subtraia 1,5 g/kg do ponto PB e adicione 1,5 g/kg ao ponto PC (considerando a variação no conteúdo de água presente no ar). Ligando esses novos pontos é traçada a linha que representa o mês em questão.
6. Então os passos 3, 4 e 5 são repetidos para todos os meses do ano.
7. Depois é identificado o percentual do comprimento das linhas que se encontram em cada zona da carta. Assim, é possível identificar as principais estratégias bioclimáticas recomendadas para diversos climas.
8. Por fim, compare as estratégias encontradas para esse clima e para o clima da sua cidade.

Faça valer a pena

1. Para se projetar é necessário conhecer as normais climáticas da cidade onde será construído o projeto. Nesses arquivos é possível conhecer as variáveis climáticas do local de interesse, sendo os valores apresentados uma média mensal de registros de vários anos. Apesar disso, quando vamos executar o projeto de um edifício, por exemplo, é preciso considerar que como esses dados são medidos em locais distantes do ponto de interesse podem haver variações entre valores registrados e a realidade do local. Assim, precisamos conhecer as escalas climáticas e os elementos que podem influenciá-las. A seguir, estão apresentadas as escalas climáticas e suas definições fora de ordem.

I- Macroclima	A - Refere-se à escala do edifício e pode ser influenciado pelo projeto.
II- Mesoclima	B - Refere-se à escala do bairro e é influenciado por aspectos como: a presença de vegetação, obstáculos para ventilação, a topografia e densidade das construções.
III- Microclima	C - Refere-se ao clima de uma região compreendendo uma cidade ou conjunto de cidades. Nessa escala se avalia a isolamento, temperaturas, ventos, precipitações.

Qual a alternativa que associa corretamente as escalas climáticas e suas definições?

- a) I- A; II- B; III-C.
- b) I- C; II- B; III-A.
- c) I- A; II- C; III-B.
- d) I- B; II- C; III-A.
- e) I- B; II- A; III-C.

2. Um potencial cliente procura o seu escritório interessado em um projeto com alta eficiência energética para sua nova casa, mas antes de se comprometer com a sua equipe pede uma síntese das estratégias passivas que poderiam ser usadas na sua obra. Então, preocupado em fazer uma boa apresentação, você procura um amigo com muita experiência nesse tipo de projeto para saber quais os possíveis métodos de análise do clima podem ser feitos para conhecer as exigências locais relativas ao conforto térmico. Assim, você recebe os seguintes conselhos:

I- Para analisar o clima é possível se utilizar programas como o *Climate Consultant* e o *Analysis Bio*.

II- Apesar de existirem normas para o conforto térmico no Brasil, elas não servem para determinar as estratégias a serem adotadas em cada clima.

III- Também é possível utilizar métodos manuais de análise climática, como a Planilha de Mahoney e a Carta de Givoni.

Tendo em mente os conselhos dados anteriormente, quais deles podem ser usados para o caso em questão?

- a) I, apenas.
- b) I, II e III.
- c) II, apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) I e II, apenas.

3. Para compreendermos o clima de um local é importante, antes de mais nada, compreender as principais variáveis climáticas que o influenciam, sendo elas: a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a ventilação e a radiação solar. Sobre esse assunto preencha as lacunas a seguir:

A radiação solar é uma _____ que tem origem nos raios solares e pode ser _____ (raios que incidem diretamente na superfície terrestre sem obstáculo) e _____ (raios que chegam à superfície terrestre após serem dispersados por partículas suspensas no ar). Assim, em dias nublados é predominante a _____, já em dias ensolarados temos a predominância da _____.

Qual alternativa traz as palavras que completam o texto apresentado na ordem correta?

- a) Onda eletromagnética, difusa; direta; radiação difusa; radiação direta.
- b) Onda ótica, difusa; direta; radiação direta; radiação difusa.
- c) Onda ótica, direta; difusa; radiação difusa; radiação direta.
- d) Onda eletromagnética direta; difusa; radiação direta; radiação difusa.
- e) Onda eletromagnética, direta; difusa; radiação difusa; radiação direta.

Seção 1.3

Carta bioclimática brasileira

Diálogo aberto

Na última seção você analisou o clima de uma cidade brasileira por meio da carta bioclimática de Givoni (1992), a fim de conhecer as estratégias que poderiam ser aplicadas no projeto de *retrofit* que sua equipe está realizando. Nesse sentido, precisou compreender o que são: clima, escalas e variáveis climáticas (temperatura, vento, umidade) e normais climatológicas, além de conhecer os climas brasileiros. Também precisou adquirir conhecimentos sobre radiação eletromagnética e fenômenos ondulatórios.

Assim, você já é capaz de encontrar as normais climatológicas de uma cidade e interpretá-las, mas será que existe uma maneira mais simples para se identificar as estratégias bioclimáticas indicadas para os diferentes climas brasileiros? Pensando nessa indagação, você, que está desenvolvendo um projeto de *retrofit* de um edifício e tem a intenção de aplicar conceitos de conforto térmico nesse trabalho, propõe à sua equipe a pesquisa de estratégias bioclimáticas recomendadas para o clima da cidade onde o projeto será aplicado de maneira simplificada. Então, um membro da sua equipe com experiência no conforto térmico sugere a utilização da carta bioclimática brasileira.

Para isso, você terá que compreender os objetivos dessa carta e seu método de aplicação, também será preciso conhecer as estratégias de conforto ambiental térmico recomendadas para cada zona bioclimática brasileira. Vamos descobrir como utilizar a carta bioclimática brasileira?

Não pode faltar

Agora que você conhece os climas brasileiros e variáveis climáticas, (temperatura, vento, umidade) já tem embasamento para compreender a carta bioclimática brasileira. Então, o que seria bioclimatologia?

A bioclimatologia aplicada à arquitetura busca atingir boas condições de conforto no interior dos edifícios utilizando estratégias passivas, ou seja, estratégias que dependem apenas de recursos naturais (ventilação e iluminação natural, radiação solar, entre outros) para o seu funcionamento.

Como vimos na seção anterior, é possível estimar as estratégias bioclimáticas recomendadas para cada cidade por meio da carta de Givoni (1992), mas muitas vezes não temos acesso a todos os dados necessários para realizar esse estudo ou o tempo para tal.

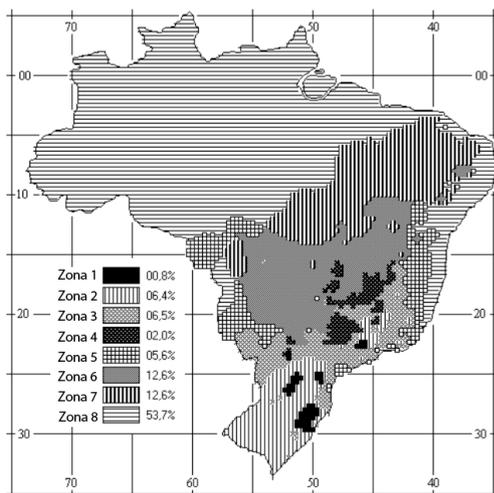
Conforto ambiental térmico: apresentação da carta bioclimática brasileira

Nesse sentido Maurício Roriz elaborou o zoneamento bioclimático estabelecido pela NBR 15220 (2005), que visa dar diretrizes para projetos bioclimáticos para habitações de interesse social nos diferentes climas brasileiros. Para isso, ele utilizou como base as cartas de Givoni (1992) e a carta psicrométrica (gráfico que relaciona temperatura de bulbo úmido, umidade do ar, temperatura de bulbo seco, entre outros).

Assim, foram traçadas mês a mês as cartas de 330 cidades brasileiras com base em dados de normais climatológicas ou em interpolações de dados. Dessa forma, foi possível reunir as cidades em zonas onde as recomendações climáticas fossem as mesmas, o que resultou em oito zonas bioclimáticas (Figura 1.12), sendo a zona predominante a 8, seguida das zonas 6 e 7.

Atualmente, esse zoneamento é parte da norma ABNT NBR 15220 na qual também são apresentadas diretrizes construtivas com base nessa divisão (como veremos na Seção 3.1).

Figura 1.12 | Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 3).

As estratégias bioclimáticas recomendadas para cada zona são as mesmas propostas por Givoni na carta bioclimática (Quadro 1.3) e estão divididas em 11 classes, das quais seis das estratégias visam atingir o conforto térmico em situações de calor e apenas três delas visam o frio.

Quadro 1.3 | Estratégias bioclimáticas de Givoni

A – Zona de aquecimento artificial (calefação);	G + H – zona de resfriamento evaporativo;
B – zona de aquecimento solar da edificação;	H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
C – zona de massa térmica para aquecimento;	I + J – zona de ventilação;
D – zona de conforto térmico (baixa umidade);	K – zona de refrigeração artificial;
E – zona de conforto térmico pleno;	L – zona de umidificação do ar.
F – zona de desumidificação (renovação de ar);	

Fonte: Baseado em Silveira (2014, p. 32).



Assimile

Que tal relembrarmos alguns termos novos que aprendemos?

Estratégia bioclimática: conjunto de atitudes de projeto para tirar proveito com eficácia dos recursos naturais visando atingir o conforto ambiental.

Zoneamento bioclimático: divisão do Brasil em 8 zonas onde cada uma recebe uma recomendação de estratégia para se atingir o conforto térmico em edificações unifamiliares e de interesse social.

Estratégias de conforto ambiental térmico para cada zona bioclimática brasileira

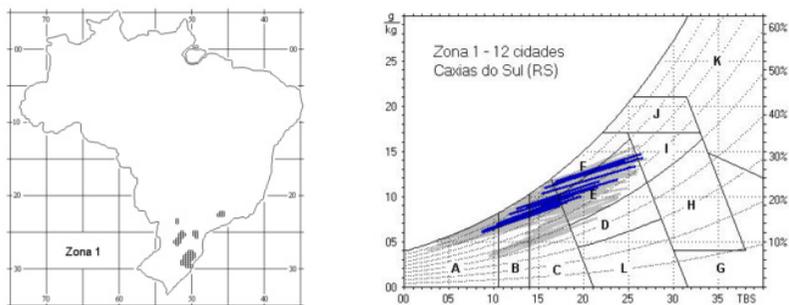
A seguir serão citadas as estratégias sugeridas para cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras e uma cidade de referência pertencente a cada zona.

Zona 1

Cidade de referência: Caxias do Sul (RS).

As cidades da zona 1 estão localizadas no Sul do país e possuem clima frio, representando a menor parcela do zoneamento (0,8%). A Figura 1.13 mostra sua localização no mapa e as estratégias recomendadas apenas para o inverno (como se trata de uma zona de clima frio, não há recomendações para o verão).

Figura 1.13 | Zona bioclimática 1 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Caxias do Sul (RS)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS

Inverno

- B – Zona de aquecimento solar da edificação;
- C – zona de massa térmica para aquecimento.

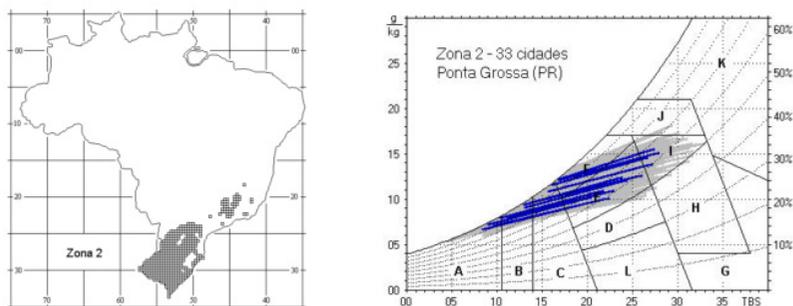
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 4).

Zona 2

Cidade de referência: Ponta Grossa (PR).

Esta zona também se localiza na região Sul do Brasil e apresenta um clima frio, como se vê na Figura 1.14. Além disso, na figura igualmente são identificadas as estratégias a serem aplicadas.

Figura 1.14 | Zona bioclimática 2 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Ponta Grossa (PR)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS	
Verão	Inverno
J – Zona de ventilação.	B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – zona de massa térmica para aquecimento.

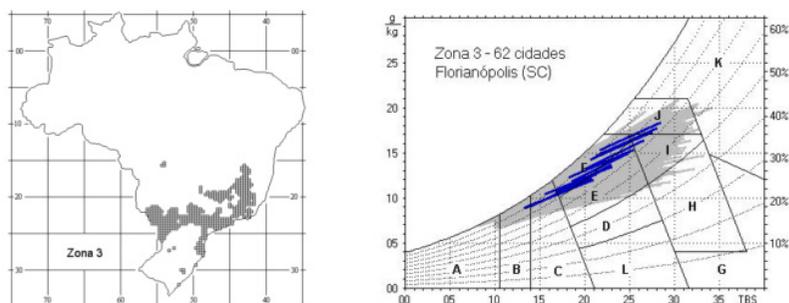
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 5).

Zona 3

Cidade de referência: Florianópolis (SC).

Esta zona abrange 62 cidades localizadas principalmente nas regiões Sul e Sudeste (Figura 1.15) e seu clima é ameno. Na Figura 1.15 estão elencadas as estratégias a serem consideradas e nota-se que elas são as mesmas que as propostas para a zona 2, apesar disso, na norma ABNT NBR 15220 as características construtivas recomendadas serão um pouco diferentes (como veremos na Seção 3.1).

Figura 1.15 | Zona bioclimática 3 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Florianópolis (SC)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS	
Verão	Inverno
J – Zona de ventilação.	B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – zona de massa térmica para aquecimento.

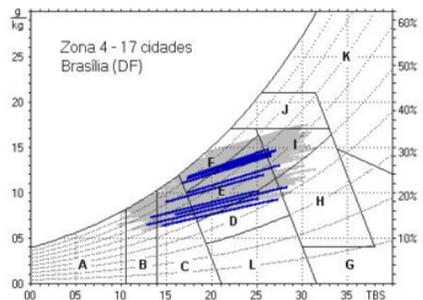
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 5).

Zona 4

Cidade de referência: Brasília (DF).

Esta zona abrange em sua maioria as regiões Sudeste e Centro-Oeste (Figura 1.16) e seu clima é quente. As estratégias para esta zona estão listadas na Figura 1.16.

Figura 1.16 | Zona bioclimática 4 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Brasília (DF)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS	
Verão	Inverno
H – Zona de massa térmica de refrigeração; J – zona de ventilação.	B – Zona de aquecimento solar da edificação; C – zona de massa térmica para aquecimento.

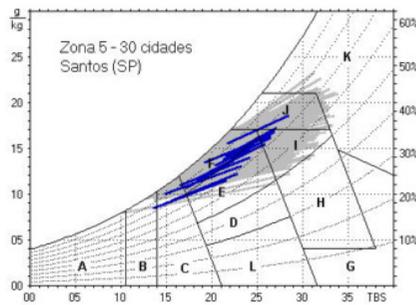
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 6).

Zona 5

Cidade de referência: Santos (SP).

Esta zona tem clima quente e está localizada principalmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (Figura 1.17). Na mesma figura também estão listadas as estratégias para essa zona.

Figura 1.17 | Zona bioclimática 5 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Santos (SP)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS

Verão	Inverno
J – Zona de ventilação.	C – Zona de massa térmica para aquecimento.

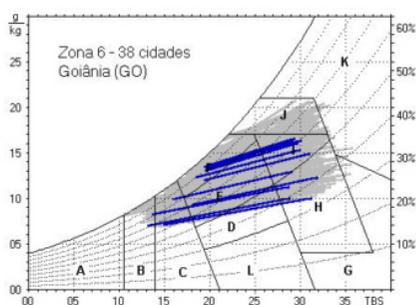
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 6).

Zona 6

Cidade de referência: Goiânia (GO).

Esta é uma zona de clima quente e engloba em sua maioria as regiões Centro-Oeste e Nordeste. A Figura 1.18 elenca as estratégias para essa zona, perceba que as recomendações para ela são as mesmas que as da zona 4.

Figura 1.18 | Zona bioclimática 6 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Goiânia (GO)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS	
Verão	Inverno
H – Zona de massa térmica de refrigeração; J – Zona de ventilação.	C – Zona de massa térmica para aquecimento.

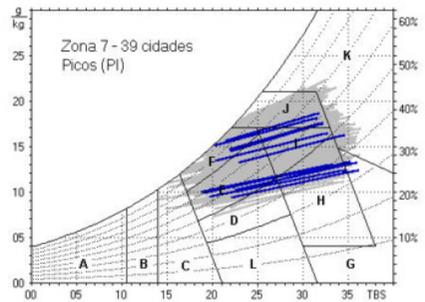
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 7).

Zona 7

Cidade de referência: Picos (PI).

Esta zona se localiza em sua maioria nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, e seu clima é quente. A Figura 1.19 coloca as estratégias recomendadas para essa zona, note que por ser um clima muito quente não há recomendações para o inverno.

Figura 1.19 | Zona bioclimática 7 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Picos (PI)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS	
Verão	
H – Zona de massa térmica de refrigeração; J – Zona de ventilação.	

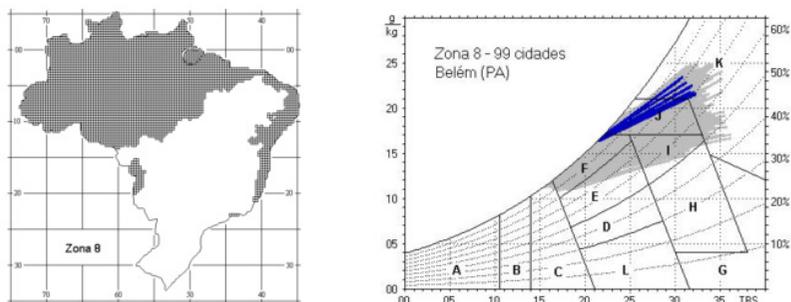
Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 8).

Zona 8

Cidade de referência: Belém (PA).

A zona 8 se localiza principalmente na região Norte do Brasil, representando a maior porção do país (53,7%) e apresentando clima quente. A Figura 1.20 elenca as estratégias recomendadas para essa zona, perceba que, assim como na zona 7, também não há recomendações para o inverno nesse caso.

Figura 1.20 | Zona bioclimática 8 destacada no mapa brasileiro e carta bioclimática para a cidade de Belém (PA)



ESTRATÉGIAS RECOMENDADAS

Verão

J – Zona de ventilação.

Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 8).



Pesquise mais

Então, agora que já conhece as estratégias recomendadas para cada zona bioclimática, que tal descobrir à qual zona a cidade onde você vive pertence? Para isso, basta consultar o anexo A (p. 11-16) da norma NBR 15220 – Parte 3, disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo “Gedweb”: <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>> Acesso em: 11 nov. 2017. Vamos lá?



Refleta

Como já vimos na seção anterior, o Brasil é dividido em vários climas diferentes, essa divisão ocorre de acordo com as normais climatológicas (temperatura do ar, umidade, pluviosidade, amplitude térmica, entre outros). Agora você também conhece a divisão bioclimática do Brasil, que leva em consideração as estratégias recomendadas para cada cidade entre as analisadas. Então que tal refletir sobre a relação entre a divisão climática e a divisão bioclimática do Brasil?

Método de aplicação da carta bioclimática brasileira

Para conhecer as estratégias bioclimáticas recomendadas para cada cidade brasileira de maneira simplificada, é possível consultar a norma

NBR 15220 – Parte 3, na qual estão descritas as cidades, relacionando-as às suas respectivas zonas bioclimáticas.



Exemplificando

Então, vejamos como conhecer as estratégias recomendadas para a cidade de Campinas (SP)?

1. Acessar o site a seguir e fazer o download da Parte 3 da norma NBR 15220:

Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb': <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

2. Localizar na norma NBR 15220 (p. 16) a cidade de Campinas (SP) entre as cidades da lista e verificar à qual zona bioclimática ela pertence. Nesse caso, como se vê destacado na Figura 1.21, a cidade em questão pertence à zona 3.

Figura 1.21 | Lista de cidades brasileiras e suas respectivas estratégias e zonas bioclimáticas, destacando-se a cidade de Campinas (SP)

UF	Cidade	Estrat.	Zona	UF	Cidade	Estrat.	Zona
PR	Paranaguá	BCFIJ	3	SC	Lages	ABCF	1
PR	Ponta Grossa	ABCFI	2	SC	Laguna	ABCFI	2
PR	Rio Negro	ABCFI	2	SC	Porto União	ABCFI	2
RJ	Angra dos Reis	FIJ	8	SC	São Francisco do Sul	CFIJ	5
RJ	Barra do Itabapoana	CFIJ	5	SC	São Joaquim	ABCF	1
RJ	Cabo Frio	FIJ	8	SC	Urussanga	ABCFI	2
RJ	Campos	CFIJ	5	SC	Valões	ABCFI	2
RJ	Carmo	BCFIJ	3	SC	Xanxerê	ABCFI	2
RJ	Cordeiro	BCFIJ	3	SE	Aracajú	FIJ	8
RJ	Escola Agrícola	CFIJ	5	SE	Itabaianinha	FIJ	8
RJ	Ilha Gualba	FIJ	8	SE	Propriá	FIJK	8
RJ	Itaperuna	CFIJ	5	SP	Andradina	CFHIJ	6
RJ	Macaré	CFIJ	5	SP	Araçatuba	CFIJK	5
RJ	Niterói	CFIJ	5	SP	Avaré	BCFIJ	3
RJ	Nova Friburgo	ABCFI	2	SP	Bandeirantes	BCFI	3
RJ	Petrópolis	BCF	3	SP	Bariri	BCFI	3
RJ	Pirai	BCFIJ	3	SP	Barra Bonita	BCFI	3
RJ	Rezende	BCFIJ	3	SP	Campinas	BCFI	3
RJ	Rio de Janeiro	FIJ	8	SP	Campos do Jordão	ABCF	1
RJ	Rio Douro	CFIJ	5	SP	Casa Grande	ABCFI	2

Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2003, p. 16).

3. Identificar no texto apresentado nesta seção ou na página 5 da norma NBR 15220 quais as estratégias bioclimáticas recomendadas. Assim, identifica-se que, como Campinas (SP) pertence à mesma zona bioclimática que Florianópolis (SC), as estratégias para a cidade são: para o verão, o uso da ventilação; e, para o inverno, a realização do aquecimento solar da edificação e trabalho da massa térmica.

De posse desses conhecimentos você já é capaz de identificar rapidamente quais as estratégias recomendadas para diversas regiões do Brasil de maneira mais rápida se comparada à análise por meio da carta de Givoni. Apesar disso, vale lembrar que para muitas cidades

foram usados dados aproximados na confecção do zoneamento bioclimático e por isso em alguns casos encontramos recomendações incompatíveis com o clima local. Por esse motivo, o zoneamento bioclimático brasileiro passa por reformulação, considerando que atualmente se tem dados mais precisos e abundantes. Nesse sentido, é importante sempre estar atento ao seguir às recomendações propostas pelo zoneamento bioclimático, exercendo seu senso crítico e sempre que possível realizando a análise por meio da carta de Givoni.

Sem medo de errar

Considerando o caso do *retrofit* de um antigo prédio, na seção anterior, você e sua equipe realizaram a análise climática da cidade em questão por meio da carta de Givoni. Então, observaram que esse tipo de análise é muito lenta e decidiram pesquisar outras possibilidades, investigando as estratégias recomendadas pelo zoneamento bioclimático brasileiro. Vejamos como realizar essa tarefa:

1. Baixar a Parte 3 da norma NBR 15220 por meio do site disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo "Gedweb": <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 11 nov. 2017.
2. Pesquisar na norma NBR 15220 (p. 11-16) a cidade de interesse entre as cidades da lista e verificar à qual zona bioclimática ela pertence.
3. Identificar no texto da seção ou na norma NBR 15220 quais as estratégias bioclimáticas recomendadas.

Avançando na prática

Projeto em três cidades diferentes

Descrição da situação-problema

Após um período com poucos trabalhos, você reúne a sua equipe para discutir possíveis recursos para captar novos clientes. Assim, um dos membros da equipe sugere que vocês participem de concursos de arquitetura para colocar o escritório em evidência. Como resultado da ideia, surgem três novos projetos, cada um em uma cidade diferente.

Então, como seu escritório é muito preocupado com o meio ambiente, você decide descobrir quais as estratégias propostas no zoneamento bioclimático para cada uma das cidades e comparar suas diferenças antes que a equipe inicie os projetos. Como proceder nesse caso?

Resolução da situação-problema

Vejam os como resolver essa situação:

1. O primeiro passo seria baixar a norma NBR 15220 acessando o site a seguir:

Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo "Gedweb": <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

2. Como na situação apresentada serão analisadas três cidades diferentes, devemos identificar a zona climática de cada uma delas na norma NBR 15220 (p. 11-16).

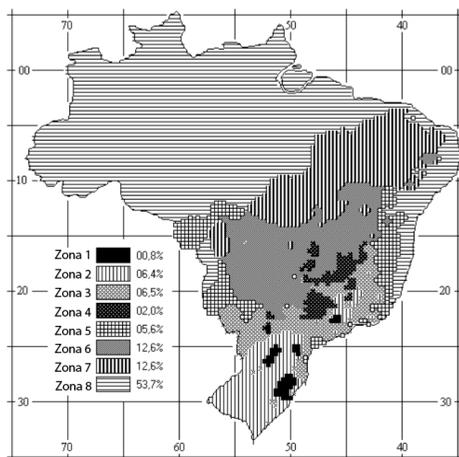
3. Então identificamos no texto da seção ou na norma NBR 15220 as estratégias bioclimáticas recomendadas para cada uma delas.

4. Por fim, comparamos as informações encontradas para compreender as diferenças de estratégias entre zonas distintas.

Faça valer a pena

1. O zoneamento bioclimático (mostrado na figura a seguir) foi elaborado por _____ e visa dar diretrizes para projetos bioclimáticos para _____ nos diferentes climas brasileiros. Para isso, foi utilizada a carta Givoni a fim de analisar o clima de 330 cidades brasileiras. Dessa forma, foi possível reunir as cidades em zonas onde _____ fossem as mesmas, o que resultou em oito zonas bioclimáticas, sendo a zona predominante a 8, seguida das zonas 6 e 7.

Figura 1.22 | Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: adaptada de ABNT 15220 (2005, p. 3).

Qual das alternativas completa o texto apresentado na ordem correta?

- a) Maurício Roriz; habitações de interesse social; as variáveis climáticas.
- b) Roberto Lamberts; habitações de interesse social; as recomendações bioclimáticas.
- c) Maurício Roriz; habitações de interesse social; as recomendações bioclimáticas.
- d) Roberto Lamberts; habitações e escolas; as recomendações bioclimáticas.
- e) Maurício Roriz; habitações de interesse social; as variáveis climáticas.

2. Você está trabalhando em um escritório que faz projetos bioclimáticos, então um novo cliente procura o escritório pedindo um estudo para outra cidade. Você se pergunta quais as estratégias bioclimáticas seriam recomendadas para tal região. Pensando nisso, pede ajuda a um colega de trabalho mais experiente para saber qual o método mais rápido para determinar essas estratégias.

Considerando a situação apresentada, qual seria o conselho mais acertado que seu amigo poderia ter lhe oferecido?

- a) Nesse caso o meio mais rápido para conhecer as estratégias recomendadas seria utilizando o zoneamento bioclimático brasileiro.
- b) Para a situação apresentada o ideal seria realizar uma análise por meio da carta de Givoni, pois é o meio mais rápido para conhecer as estratégias.
- c) O meio mais rápido para conhecer as recomendações bioclimáticas de uma cidade seria consultando a norma NBR 15210 – Parte 1.
- d) No caso apresentado seria ideal consultar um especialista em conforto térmico, pois apenas ele seria capaz de fazer recomendações sobre estratégias bioclimáticas.
- e) O meio mais rápido para descobrir as estratégias bioclimáticas recomendadas para uma cidade seria o método Fanger.

3. Para se identificar as estratégias bioclimáticas por meio do zoneamento bioclimático brasileiro, é preciso seguir determinados passos, que estão elencados a seguir de forma desorganizada. Encontre a ordem na qual esses passos devem ser seguidos e responda à questão a seguir.

I. Identificar na norma NBR 15220 quais as estratégias bioclimáticas recomendadas para a zona à qual a cidade pertence.

II. Localizar na norma NBR 15220 – Parte 3 a cidade de interesse entre as cidades da lista.

III. Verificar à qual zona bioclimática ela pertence.

Qual alternativa indica a sequência correta para a atividade proposta?

- a) III; II; I. d) II; I; III.
- b) I; III; II. e) I; II; III.
- c) II; III; I.

Referências

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 36 p.

ABNT. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais Prefácio. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013a. p. 60.

ABNT. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013b. p. 51.

ABNT. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013c. p. 63.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Handbook of Fundamentals. Atlanta, 1997. 1 v. cap. 8: Physiological Principles for Comfort and Health. p. 8.1-8.32.

ASHRAE. Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013, Estados Unidos: ASHRAE, 2013. In: RUAS, Álvaro César. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

BEN. Balanço energético nacional 2013 – Ano base: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

CÂNDIDO, Christhina et al. Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído (Online)**, v. 10, n. 4, p. 59-68, dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212010000400005&lng=en&nrm=iso&lng=pt>. Acesso em: 9 jul. 2015.

DEAR, Richard De; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 1-18, 1998.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**: Analysis and Application in Environmental Engineering. Copenhagen: Danish Technical, 1970. 244 p.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, v. 18, n. 1, 1992.

HOYT, T. et al. CBE Thermal Comfort Tool. Center for the Built Environment,

University of California Berkeley, 2017. Disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu>>. Acesso em: 25 set. 2017.

INPE; CPTEC. **Climatologia Trimestral**. Brasil: [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://infoclima.cptec.inpe.br/>>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 8996; ergonomics-determination of metabolic heat production. Geneva, 1990. In: RUAS, Álvaro César. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 9920; ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva, 1995. In: RUAS, Álvaro César. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2002.

IPCC. Working Group II. **Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Synthesis Report**. Headline statements from the Summary for Policymakers. Geneva: [s.n.], 2015.

LABEE. **Analysis BIO**. [S.l.]: Labeee. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>>. Acesso em: 3. nov. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. p. 382. São Paulo: PW Editores. 1997.

LAMBERTS, Roberto et al. **Sustentabilidade nas edificações**: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf>. Acesso em: 18 maio 2017.

LAMBERTS, Roberto et al. **Conforto e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf>. Acesso em: 24 set 2017.

MELLIS, Fernando. Seca em SP: haverá água em 2015? **R7**, São Paulo, dez. 2014. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/sao-paulo/seca-em-sp-havera-agua-em-2015-18122014>>. Acesso em: 1 ago. 2017.

MILNE, Murray. **Climate consultant**. Los Angeles: Department of Architecture and Urban Design. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

PARKINSON, Thomas; DEAR, Richard de; CANDIDO, Christhina. Thermal pleasure in built environments: alliesthesia in different thermoregulatory zones.

Building Research & Information, p. 1-14 , 10 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2015.1059653>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 394-398, jan. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>>. Acesso em: 9 jul. 2014.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente**: NBR 15575 e ashrae 55. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014.



Estratégias bioclimáticas

Convite ao estudo

Como vimos na última unidade, para projetar uma edificação adequada ao clima, é necessário conhecer o clima local para identificar as melhores estratégias bioclimáticas a serem aplicadas, mas além de conhecer as estratégias indicadas também é necessário compreender seu funcionamento para saber aplicá-las corretamente.

Nesse sentido, estudaremos a fundo as principais estratégias recomendadas para os climas brasileiros para então sermos capazes de selecionar as estratégias passivas de condicionamento térmico e propor aplicações em projetos.

Retomando o contexto de aprendizagem apresentado na primeira unidade, o seu escritório de arquitetura está realizando o projeto de retrofit de um edifício localizado na sua cidade e deseja aplicar os conceitos de conforto térmico na edificação. Para isso, você estudou na unidade anterior os fundamentos do conforto térmico e o clima de sua cidade e, a partir desses novos conceitos, agora você é capaz de identificar quais são as estratégias bioclimáticas indicadas para alcançar um bom desempenho térmico nos seus projetos. Então, você reuniu a equipe de projeto para discutir quais das estratégias indicadas para o clima da sua cidade são viáveis para esse projeto. Mas quais serão as possíveis aplicações para cada uma delas? Que tal conhecê-las um pouco mais?

Para isso, na Seção 2.1, teremos que compreender as transferências úmidas de calor, um conceito essencial para a compreensão de algumas estratégias bioclimáticas. Também nos aprofundaremos no conhecimento do resfriamento evaporativo, umidificação e suas aplicações na Arquitetura.

Mais à frente, na Seção 2.2, veremos a fundo as estratégias relacionadas a: aquecimento solar, inércia térmica, além da massa térmica para resfriamento e aquecimento; também veremos exemplos práticos de aplicações de cada uma delas.

Por fim, na Seção 2.3, estudaremos as funções da ventilação, os parâmetros que influenciam a ventilação natural, além de compreender o funcionamento da ventilação por ação do vento e por diferença de temperatura ou pressão. Ao final dessa seção, também conheceremos alguns exemplos de aplicações práticas dessa estratégia.

Dessa maneira, ao concluir a unidade, você conhecerá as principais estratégias bioclimáticas indicadas para os climas brasileiros. Então vamos lá?

Seção 2.1

Resfriamento evaporativo e umidificação

Diálogo aberto

Na seção anterior você conheceu uma maneira mais simples para identificar as estratégias bioclimáticas indicadas para os diferentes climas brasileiros, usando a carta bioclimática brasileira. Então, com intenção de conhecer as estratégias que poderiam ser aplicadas no projeto de retrofit que sua equipe está realizando, você aplicou a carta bioclimática brasileira a uma cidade onde fica o projeto. Para isso, precisou conhecer o histórico e objetivo do desenvolvimento da carta bioclimática brasileira, compreender a carta bioclimática brasileira e seu método de aplicação, assim como conhecer as estratégias de conforto ambiental térmico recomendadas para cada zona bioclimática brasileira.

Agora que você já conhece as estratégias recomendadas para o projeto em questão, como, então, seria a sua aplicação em projeto? O resfriamento evaporativo ou a umidificação é uma estratégia adequada para ser utilizada no edifício? Que tal pensar em alguns exemplos práticos para aplicar o resfriamento evaporativo ou a umidificação como estratégia bioclimáticas no projeto de retrofit?

Para isso, precisaremos compreender as trocas úmidas de calor e os benefícios das estratégias de resfriamento evaporativo e umidificação; além disso, veremos exemplos práticos para inspirar futuros projetos. Vamos lá?

Não pode faltar

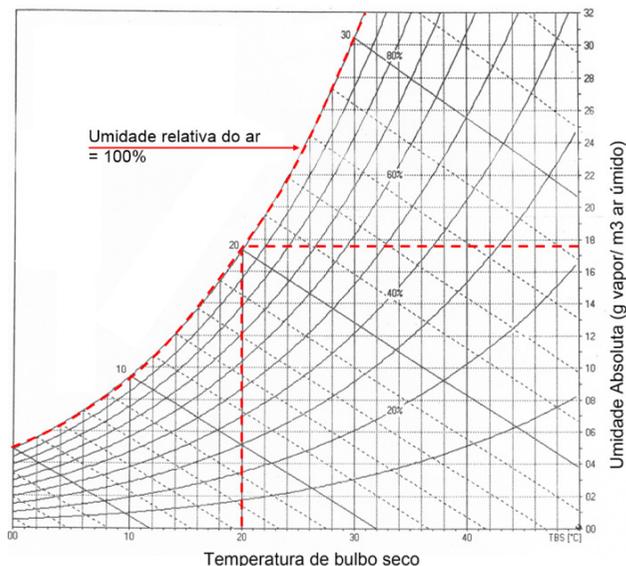
Nesta unidade veremos duas das estratégias passivas indicadas para alcançar o conforto térmico em ambientes com baixa umidade: o resfriamento evaporativo e a umidificação. Para compreender essas estratégias, primeiramente é necessário conhecer o conceito de trocas térmicas úmidas. Então vamos começar?

Transferências úmidas de calor

São trocas úmidas de calor aquelas que envolvem mudança de fase da água, ou seja, do estado gasoso para o líquido (condensação) e do líquido para o vapor (evaporação).

Para que ocorra a evaporação é necessário dispêndio de energia; por exemplo, para evaporar um litro de água, gastam-se cerca de 700J de energia (FROTA; SCHIFFER, 2001). Além disso, é importante compreender que a quantidade de vapor de água máxima que o ar pode conter (saturação do ar) depende da temperatura. Na Figura 2.1 é apresentada a carta psicrométrica, a partir da qual é possível relacionar a temperatura de bulbo seco (eixo x) com a quantidade de vapor de água para cada temperatura (eixo y), sendo a curva de umidade relativa do ar de 100% a saturação do ar. Assim, se traçarmos uma linha vertical a partir da temperatura de 20 °C até encontrarmos a curva de 100% de umidade relativa do ar, podemos verificar que a quantidade máxima de vapor para essa temperatura é de 18g/m³.

Figura 2.1 | Carta Psicrométrica



Fonte: adaptada de Fernandes (2017, sp.).

Caso seja cedida ao ambiente uma quantidade de vapor de água acima de sua capacidade de saturação, ocorrerá a condensação. Esse fenômeno pode ser observado durante o período da manhã, em que as temperaturas são baixas e há valores menores de umidade

absoluta, assim é comum ocorrer a condensação na forma de orvalho. Na condensação, assim como na evaporação, também ocorre um dispêndio de energia de 700J de energia (FROTA; SCHIFFER 2001).

Quando o ar saturado entra em contato com uma superfície que apresenta temperatura mais baixa que a do ar, ocorre a condensação sobre a superfície. No caso das edificações, é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes isoladas termicamente e com várias camadas.

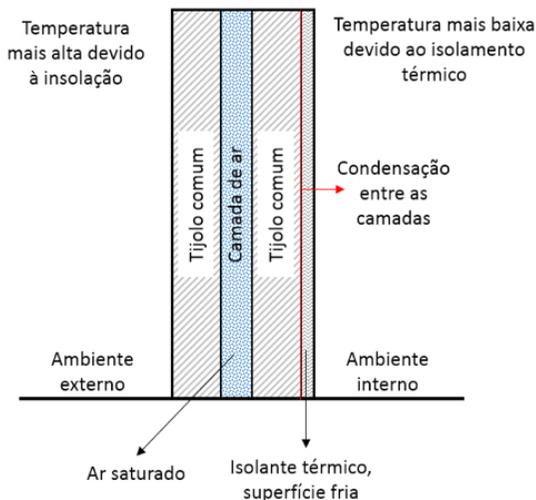


Exemplificando

Vejamos um exemplo da ocorrência de condensação no interior de paredes.

A Figura 2.2 mostra um exemplo desse fenômeno em uma parede composta de: duas camadas de tijolo, uma camada de ar e uma camada de isolamento térmico no lado interno da parede. Nesse exemplo, supomos uma temperatura mais alta externa em razão da insolação e, no ambiente interno, uma temperatura mais baixa em razão do isolamento da parede. Assim, caso o ar já esteja em situação de saturação, poderá ocorrer a condensação entre as camadas da construção. É importante observar que, no inverno, se o ambiente interno estiver mais aquecido que o externo, também pode ocorrer esse mesmo fenômeno.

Figura 2.2 | Condensação no interior de paredes



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando o caso do exemplo apresentado anteriormente, uma possível solução para evitar o mofo entre as camadas de uma construção é aplicar uma impermeabilização higrométrica, ou seja, uma camada impermeável a água. No caso do ambiente interno mais aquecido, o ideal é aplicar o tratamento na face externa da parede, já no caso do ambiente interno mais frio a solução o ideal é aplicar o tratamento na face interna da parede.

Resfriamento evaporativo

Como vimos anteriormente, o processo de evaporação da água exige dispêndio de energia. Podemos observar esse fenômeno em dias quentes após uma chuva de verão, quando a camada de água que se deposita sobre o asfalto quente logo evapora, resfriando a temperatura do piso, ou seja, a energia térmica armazenada pelo asfalto é usada para realizar a mudança de fase da água do estado líquido para o vapor (evaporação). Outro exemplo desse fenômeno é o resfriamento que sentimos na mão logo após passar álcool, o que ocorre em razão da sua evaporação; nesse caso, também se aplica o resfriamento evaporativo. Assim, o mesmo conceito pode ser usado no ambiente construído para resfriar paredes ou coberturas.

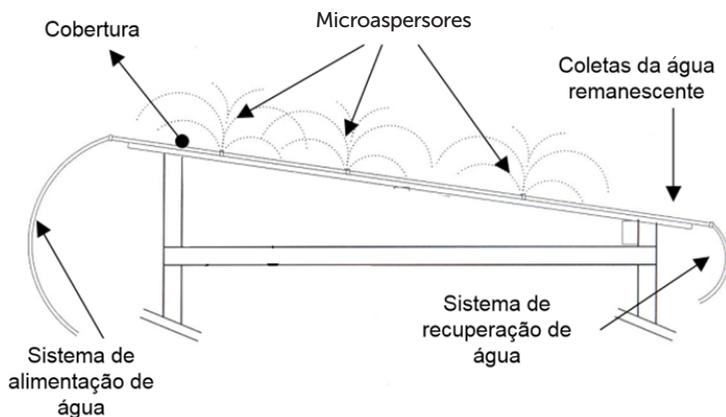


Exemplificando

Vejamos um exemplo prático da aplicação dessa estratégia.

A Figura 2.3 apresenta um exemplo esquemático de um sistema de resfriamento evaporativo em uma cobertura. No exemplo é usado um sistema de alimentação de água para servir a microaspersores instalados na cobertura, que, por sua vez, vaporizam água no local. Assim, quando o telhado se encontra a temperaturas elevadas, ocorre a evaporação dessa água promovendo o seu resfriamento. Além disso, o sistema prevê a recuperação da água para o caso de que nem toda água vaporizada sobre a cobertura seja utilizada, evitando assim o desperdício de recursos.

Figura 2.3 | Condensação no interior de paredes



Fonte: adaptada de Teixeira e Labaki (2006, p. 906).

Apesar de ser algo bem simples, como é possível observar no esquema, pode significar grandes benefícios para o conforto térmico da edificação!



Pesquise mais

O resfriamento evaporativo pode ser de grande valia para reduzir a temperatura superficial de telhados, por exemplo. Mas quanto essa estratégia pode realmente reduzir a temperatura? Uma sugestão para conhecer um pouco mais sobre o assunto é a leitura do artigo "Resfriamento evaporativo em coberturas: estudo de caso em Campinas-SP" (TEIXEIRA e LABAKI, 2006). Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_0902_909.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

Umidificação

Como vimos na Seção 1.1, a umidade do ar é um dos parâmetros ambientais que influenciam a sensação térmica, sendo que quando está muito baixa é necessário promover a umidificação para que o usuário possa sentir conforto térmico.

Existem muitas abordagens para favorecer a umidificação adotando-se estratégias no ambiente externo à edificação, como: o plantio de vegetação (evapotranspiração das plantas) ou a construção de espelhos d'água. Em ambos os casos é sempre importante permitir

a ventilação natural para que o ar mais úmido da área externa possa entrar no ambiente.

Outra opção é promover a umidificação no interior dos ambientes com atitudes simples, como: distribuir recipientes com água pela casa, ou abrir a porta do banheiro após o banho. Nesses casos, deve-se fechar as janelas para que a umidade adquirida não seja perdida para o ambiente externo.



Exemplificando

Então vamos conhecer alguns exemplos de estratégias que podem ser aplicadas ao ambiente externo?

Um exemplo do uso da evapotranspiração das plantas para aumentar a umidade é mostrado na Figura 2.4 e na Figura 2.5, as quais apresentam locais onde se construíram uma parede e um telhado verde, respectivamente. No caso da vegetação aplicada diretamente à construção, os benefícios vão além do aumento da umidade, já que eles também aumentam a resistência da superfície à transmissão de calor e promovem o seu sombreamento.

Figura 2.4 | Uso de paredes verdes para promover a umidificação



Fonte: <<https://pixabay.com/pt/parede-de-plantas-parede-verde-52750/>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

Figura 2.5 | Uso de telhados verdes para promover a umidificação – Igreja Hofskirkja, em Upplysingar, Islândia



Fonte: Pixabay (2012).

Além da opção da vegetação plantada diretamente sobre a cobertura, também é possível plantar maciços arbóreos no entorno do edifício, tendo como benefícios o sombreamento e o aumento da umidade.

Outro meio para aumentar a umidade de um ambiente é a construção de lagos, fontes ou espelhos d'água. Eles podem ser construídos em meio à edificação, seguindo o exemplo de antigas construções árabes, onde se construíam fontes no centro dos pátios internos para promover a umidificação do ambiente (Figura 2.6).

Figura 2.6 | Uso de espelhos d'água para promover a umidificação – Alhambra, Granada



Fonte: Wikimedia commons (2017).

Quando pensamos em um projeto para um clima seco, utilizar estratégias para elevar a umidade do ar pode ser uma boa solução visando o conforto térmico do usuário. Então vamos relembrar resumidamente quais são essas estratégias?



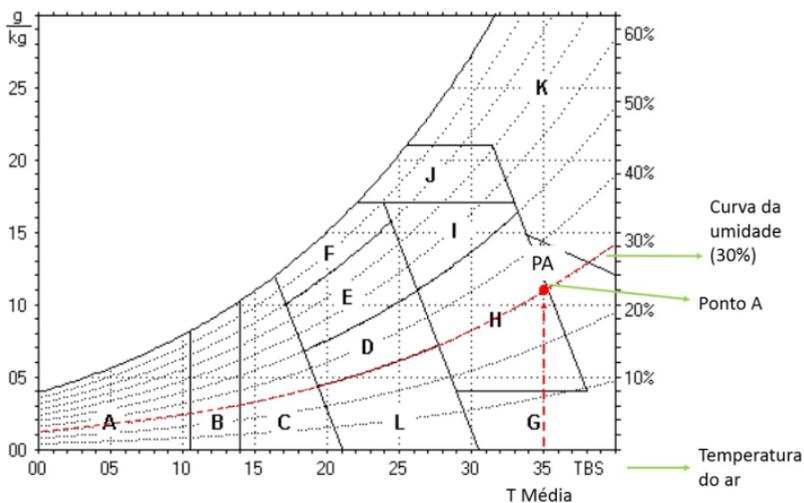
Assimile

Resfriamento evaporativo: aplicar água a uma superfície para promover o resfriamento por meio do gasto energético que ocorre com a evaporação da água.

Umidificação: elevar a umidade relativa do ar interno de maneira passiva com apoio da ventilação, usando, por exemplo, a vegetação ou espelhos d'água como fonte de umidade.

Antes de decidir qual a melhor estratégia a ser aplicada, já vimos que é importante realizar a análise climática do local, sendo a Carta de Givoni um bom método de análise. Observando a carta (Figura 2.7) podemos notar que só é recomendada a aplicação do resfriamento evaporativo quando as temperaturas estiverem entre 27 e 40°C e a umidade relativa do ar for menor que 50% (zonas G + H). Já umidificação do ambiente deve ser utilizada quando as temperaturas se encontrarem entre 21 e 30°C e a umidade relativa do ar estiver abaixo de 30% (zona L).

Figura 2.7 | Carta de Givoni



Estratégias recomendadas:

A – zona de aquecimento artificial (calefação);
B – zona de aquecimento solar da edificação;
C – zona de massa térmica para aquecimento;
D – zona de conforto térmico (baixa umidade);
E – zona de conforto térmico pleno;
F – zona de desumidificação (renovação de ar);

G + H – zona de resfriamento evaporativo;
H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
I + J – zona de ventilação;
K – zona de refrigeração artificial;
L – zona de umidificação do ar.

Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).



Refleta

Uma vez que você já viu a aplicação das estratégias em diversas cidades brasileiras, que tal pensar sobre o clima da sua cidade? Será que essas poderiam ser aplicadas em algum período do ano?

Agora que você já compreende as trocas úmidas de calor, como a evaporação e a condensação, é capaz de decidir como e quando aplicar as estratégias de resfriamento evaporativo e umidificação, estando apto a colocar em projeto esses métodos passivos de resfriamento.

Sem medo de errar

Depois verificar as estratégias recomendadas para o projeto do retrofit, você começa a pensar em como aplicá-las em projeto. Então começamos pensando em alguns exemplos práticos para aplicar o resfriamento evaporativo ou a umidificação no projeto de retrofit. Vamos ver algumas opções?

Para pensar nas alternativas possíveis, primeiramente faça uma análise das aplicações cabíveis para o projeto em questão. Algumas possibilidades para aplicar o resfriamento evaporativo são: vaporizar água na parede ou na cobertura.

Para isso, é importante considerar qual superfície é mais propícia para tal sempre pensando no isolamento higrométrico das estruturas, a fim de evitar problemas como o mofo. Também é possível considerar a aplicação da estratégia nas superfícies mais quentes para a obtenção do melhor custo-benefício do investimento.

Caso a umidificação seja escolhida, também são muitas as opções, por exemplo: o uso de espelhos d'água, o plantio de árvores, a implantação de paredes ou telhados verdes.

No caso de a opção ser os espelhos d'água, é preciso verificar se há espaço para a implantação de tal estratégia, lembrando sempre que esse tipo de intervenção exige muita manutenção.

Já para o plantio de árvores, também é necessário levar em consideração a existência de espaço no entorno, além de a necessidade de regá-las e de podá-las em razão da possibilidade de intervenção dos galhos nas fiações.

Por fim, ao se considerar a parede ou telhado verde, o espaço não é um problema, mas é preciso que o sobrepeso da estrutura, as regas e podas sejam pensados.

Então, após pesar todas as possibilidades, é necessário que uma decisão sobre o projeto seja tomada, levando em consideração que não há uma única resposta correta. Assim, essa decisão dependerá de uma análise criteriosa do arquiteto.

Avançando na prática

Análise de aplicação da umidificação e do resfriamento evaporativo

Descrição da situação-problema

O escritório onde você trabalha está realizando um projeto em um cidade quente e seca, e o cliente, interessado em usar estratégias passivas para conseguir um bom conforto térmico no projeto, convoca uma reunião para discutir as opções.

Como esse cliente que é muito curioso e interessado veio para uma reunião com uma pesquisa que realizou na internet, ele leu que tanto o resfriamento evaporativo quanto a umidificação passiva da edificação poderiam ser soluções de projeto. Então ele quer saber se é realmente vantajoso aplicar uma ou duas dessas estratégias em seu projeto.

Assim, sua equipe faz um levantamento das normais climáticas do local e obtém os seguintes valores médios:

Quadro 2.1 | Valores médios extraídos do levantamento das normas climáticas locais

Verão	Inverno
Temperatura de bulbo seco = 34 °C Umidade relativa do ar = 35%	Temperatura de bulbo seco = 22 °C Umidade relativa do ar = 25%

Fonte: elaborado pela autora.

Desse modo, para resolver a questão, será necessária a análise das temperaturas por meio do uso da Carta de Givoni, a fim de que as vantagens da aplicação das estratégias no projeto em questão sejam avaliadas corretamente.

Resolução da situação-problema

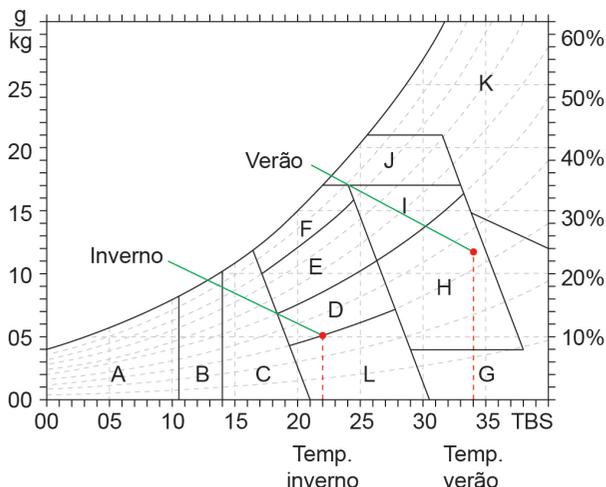
Para que você possa avaliar os benefícios das estratégias propostas, os passos são:

1. Encontre o ponto referente ao verão. Comece traçando uma linha vertical de apoio a partir da temperatura média de verão até encontrar a curva da umidade relativa média mensal do período. Esse ponto representa a média da estação do verão.

2. Na sequência, o passo 1 deve ser repetido para o inverno, e a média dessa estação é encontrada. Os dois pontos traçados podem ser vistos na Figura 2.8.

Seguindo esses passos é possível identificar de maneira simplificada o quanto será vantajoso aplicar cada estratégia. Para resultados mais precisos, seria necessário realizar o procedimento que aprendemos na Seção 1.2, avaliando as necessidades climáticas do local mês a mês. No caso avaliado, seria vantagem utilizar o resfriamento evaporativo para o verão e a umidificação no inverno.

Figura 2.8 | Carta de Givoni com destaque para as zonas bioclimáticas



Estratégias recomendadas:

A – zona de aquecimento artificial (calefação);
 B – zona de aquecimento solar da edificação;
 C – zona de massa térmica para aquecimento;
 D – zona de conforto térmico (baixa umidade);
 E – zona de conforto térmico pleno;
 F – zona de desumidificação (renovação de ar);

G + H – zona de resfriamento evaporativo;
 H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
 I + J – zona de ventilação;
 K – zona de refrigeração artificial;
 L – zona de umidificação do ar.

Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

Faça valer a pena

1. Para compreender as estratégias da umidificação e do resfriamento evaporativo, é necessário antes entender os mecanismos de trocas úmidas de calor. Assim, analise as afirmações a seguir:

I. São trocas úmidas de calor aquelas que envolvem mudança de fase da água, ou seja, do estado gasoso para o líquido (evaporação) e do líquido para o vapor (condensação).

II. Para que ocorra a evaporação é necessário dispêndio de energia, sendo que para evaporar um litro de água se gasta cerca de 700J de energia.

III. O ar está saturado quando a umidade atinge 100%.

IV. Caso seja cedida ao ambiente uma quantidade de vapor de água acima de sua capacidade de saturação, ocorrerá a evaporação. Considerando os itens apresentados anteriormente, qual a alternativa que apresenta apenas afirmações corretas?

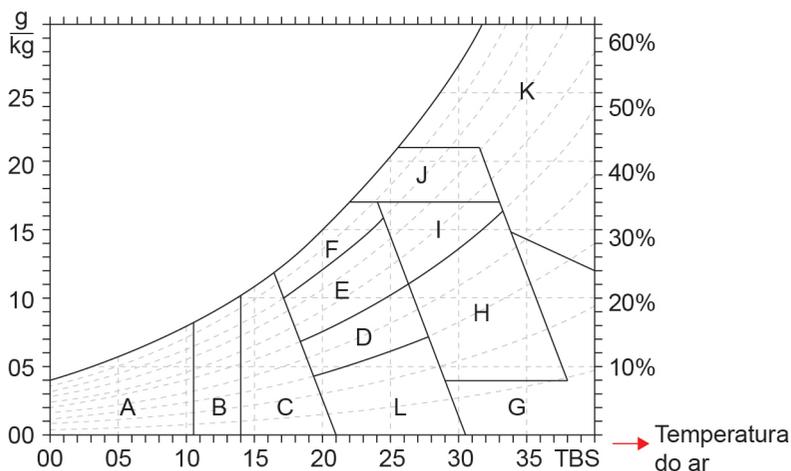
- a) II e III.
- b) I, II e III.
- c) II e IV.
- d) II, III.
- e) I e II.

2. Um cliente procura o seu escritório com um grave problema: após instalar um isolante térmico na face interna das paredes de um cômodo, estas começaram a apresentar mofo. Então, depois de conhecer o ambiente, você percebe que o exterior está significativamente mais quente que o interior, além disso, percebe que a umidade da região é alta. Avaliando essa situação, qual seria a explicação correta para o fenômeno que está acontecendo?

- a) Quando o ar saturado entra em contato com uma superfície à temperatura mais alta que a do ar, ocorre a condensação sobre a superfície; no caso das edificações é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes com camada de ar.
- b) Quando a umidade entra em contato com uma superfície à temperatura menor que a sua, ocorre a evaporação na superfície; no caso das edificações é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes com camada de ar.
- c) Quando o ar seco entra em contato com uma superfície à temperatura menor que a sua, ocorre a condensação na superfície; no caso das edificações é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes com isolantes térmicos.
- d) Quando o ar saturado entra em contato com uma superfície à temperatura menor que a sua, ocorre a condensação sobre a superfície; no caso das edificações é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes isoladas termicamente e com várias camadas.
- e) Quando a umidade entra em contato com uma superfície à temperatura menor que a sua, ocorre a evaporação na superfície; no caso das edificações é comum que aconteça esse fenômeno dentro da parede, principalmente em paredes com isolantes térmicos.

3. Utilizando o Carta de Givoni, avalie se é vantajoso instalar um sistema para vaporizar água em um telhado, considerando uma cidade onde a temperatura média do ar no mês de dezembro é de 35 graus e a umidade do ar é de 30%.

Figura 2.9 | Carta de Givoni



Estratégias recomendadas:

A – zona de aquecimento artificial (calefação);
 B – zona de aquecimento solar da edificação;
 C – zona de massa térmica para aquecimento;
 D – zona de conforto térmico (baixa umidade);
 E – zona de conforto térmico pleno;
 F – zona de desumidificação (renovação de ar);

G + H – zona de resfriamento evaporativo;
 H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
 I + J – zona de ventilação;
 K – zona de refrigeração artificial;
 L – zona de umidificação do ar.

Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

Refletindo sobre a situação proposta anteriormente, qual a alternativa apresenta a resposta e a justificativa correta para a questão colocada?

- A instalação de um sistema para vaporizar água no telhado não é vantajosa nessa situação, pois realizando a análise da Carta de Givoni verifica-se que a umidificação não é recomendada.
- A instalação de um sistema para vaporizar água no telhado é vantajosa nessa situação, pois realizando a análise da Carta de Givoni verifica-se que o resfriamento evaporativo é recomendado.
- A instalação de um sistema para vaporizar água no telhado não é vantajosa nessa situação, pois realizando a análise da Carta de Givoni verifica-se que o resfriamento evaporativo não é recomendado.

- d) A instalação de um sistema para vaporizar água no telhado é vantajosa nessa situação, pois realizando a análise da Carta de Givoni verifica-se que umidificação é recomendada.
- e) A instalação de um sistema para vaporizar água no telhado é vantajoso nessa situação, pois realizando a análise da Carta de Givoni verifica-se que tanto o resfriamento evaporativo quanto a umidificação são recomendados.

Seção 2.2

Massa térmica e aquecimento solar

Diálogo aberto

Na seção anterior você viu como seria a aplicação do resfriamento evaporativo ou a umidificação em projeto, razão pela qual precisou compreender as trocas úmidas de calor e os benefícios de cada estratégia. Também viu exemplos práticos para inspirar futuros projetos e ainda pensou em uma aplicação desses conceitos ao projeto de retrofit que está desenvolvendo.

Além dessas estratégias, vimos na unidade anterior outras possíveis atitudes de projeto para conseguir o conforto passivo para cada clima brasileiro. Pensando na cidade onde se situa o edifício que receberá o retrofit, e supondo que a massa térmica (para aquecimento ou resfriamento) ou o aquecimento solar fosse indicado para esse clima, quais são as possíveis intervenções no projeto que poderiam promover essas estratégias de maneira passiva?

Para alcançarmos esse objetivo, será necessário primeiramente conhecer melhor as estratégias de massa térmica e aquecimento solar, além de ser preciso entender as diferenças na aplicação da massa térmica para resfriamento e aquecimento. Então, que tal compreender o seu funcionamento e quando devem ser aplicadas em projetos?

Não pode faltar

A massa térmica e o aquecimento solar são estratégias recomendadas para vários climas brasileiros, como vimos na Unidade 1. Então como saber se é realmente vantajosa a aplicação de cada uma delas? Vamos conhecer um pouco sobre o seu funcionamento e ver exemplos de aplicações práticas?

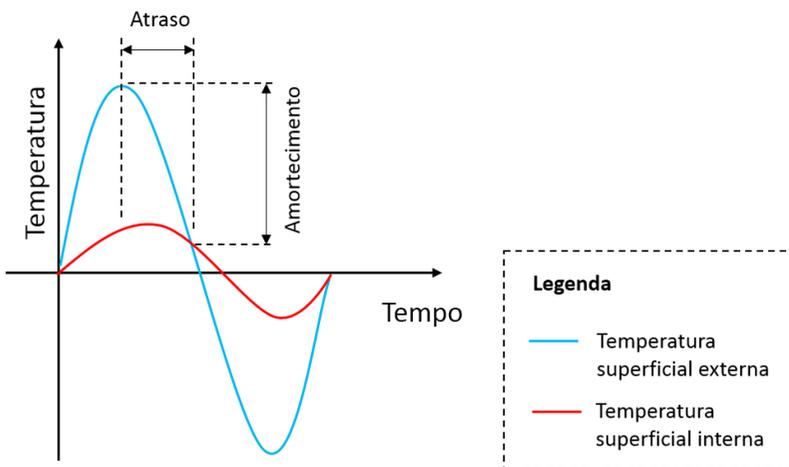
Inércia térmica

A inércia térmica é a capacidade de um elemento de armazenar calor e liberá-lo lentamente. A Figura 2.10 mostra um exemplo de

uma parede com alta inércia térmica (proporcionada diretamente pela massa térmica), que recebe calor alcançando um pico de temperatura em determinado momento, mas apenas transfere esse calor após determinado tempo (tempo de atraso térmico); além disso parte desse calor é perdido ao atravessar a parede (fator de amortecimento térmico), de maneira que a temperatura superficial interna é mais amena e apresenta variação menor que a externa.

Na construção, essa propriedade pode ser usada a fim de reduzir a variação da temperatura interna de um ambiente, absorvendo calor durante o dia (mantendo-o mais fresco) e o liberando apenas durante a noite (aquecendo-o).

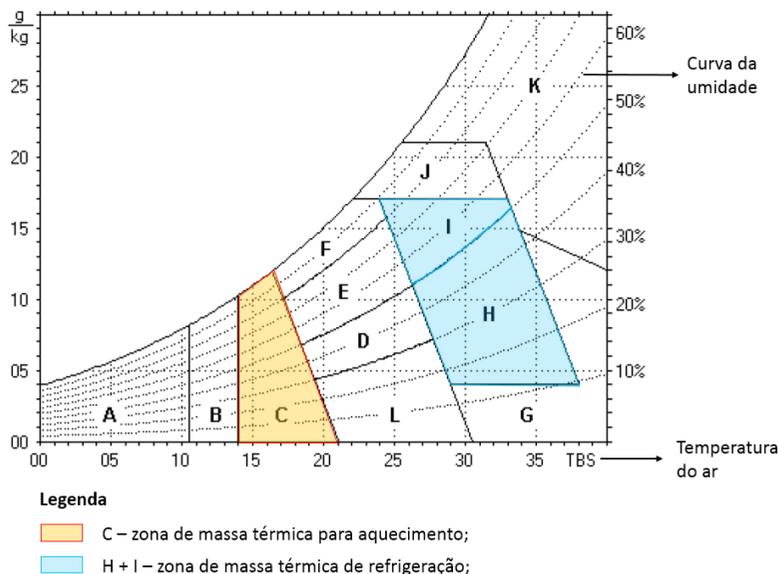
Figura 2.10 | Exemplo de curvas de variação da temperatura superficial (interna e externa) de paredes externas com alta inércia térmica



Fonte: adaptada de Frota (2001, p. 51).

A inércia térmica pode ser usada para o resfriamento ou para o aquecimento da edificação, como vemos na Figura 2.11. É recomendada a aplicação da massa térmica para a refrigeração (destacado em laranja-zona C), quando as temperaturas estão entre 14 e 22 °C para qualquer valor de umidade relativa do ar. Já a massa térmica para o aquecimento deve ser utilizada quando as temperaturas estiverem entre 24 e 38 °C, abrangendo uma faixa de umidade relativa do ar de 10 a 90% (zona H e I – destacado em azul).

Figura 2.11 | Carta de Givoni



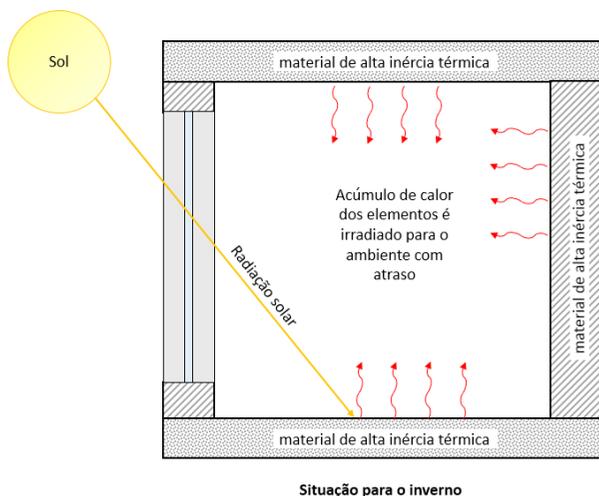
Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).



Exemplificando

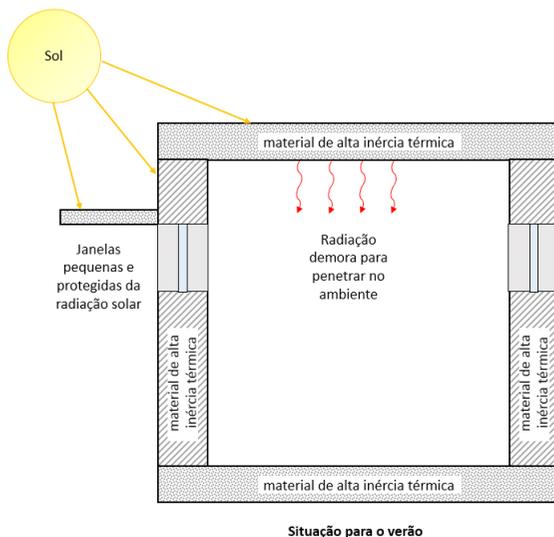
Segundo Lamberts (2014), a massa térmica para aquecimento pode ser conseguida com paredes grossas e grandes áreas envidraçadas para captar a energia solar (inércia térmica + aquecimento solar); além disso os elementos internos da construção podem ser massivos, contribuindo com a acumulação do calor ganho (Figura 2.12). Já no caso do uso da inércia térmica com função de refrigerar a edificação (Figura 2.13), também se adotam paredes espessas, mas, para se evitar o ganho de calor indesejado, as aberturas devem ser pequenas e sombreadas, e é importante ventilar os ambientes à noite com o objetivo de remover o calor acumulado e deixar entrar o ar mais frio e noturno.

Figura 2.12 | Exemplo do uso da massa térmica para o aquecimento



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.13 | Exemplo do uso da massa térmica para o resfriamento



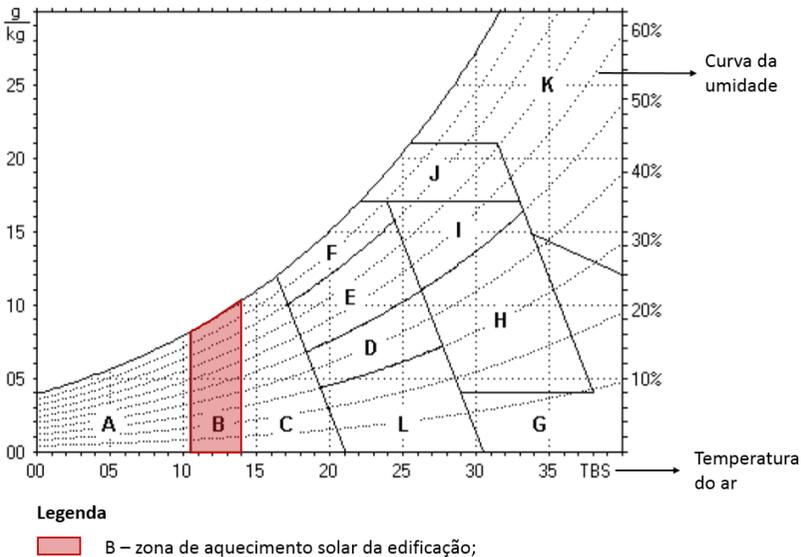
Fonte: elaborada pela autora.

Em ambos os casos é importante evitar a ventilação diurna, pois em locais quentes não é desejado que o ar externo aquecido entre, já em climas frios não se deseja perder o calor acumulado.

Aquecimento solar

Segundo a carta bioclimática de Givoni (Figura 2.14), o aquecimento solar funciona bem com temperaturas entre 10,5 e 14°C sem influência da umidade relativa do ar (destacado em vermelho – zona B).

Figura 2.14 | Carta de Givoni

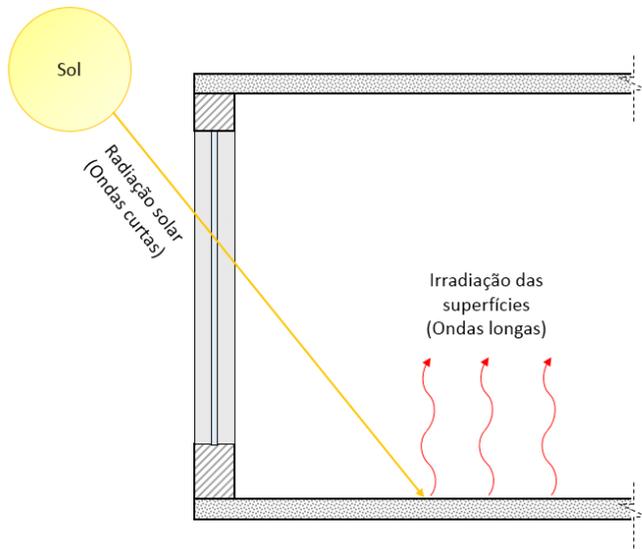


Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

Essa estratégia tem várias aplicações e consiste em aquecer a edificação por meio da radiação solar que incide na edificação, podendo ser alcançada a partir dos ganhos solares direto e indireto. O ganho direto ocorre quando a radiação penetra diretamente na edificação, a partir de elementos envidraçados ou aberturas. Assim, é possível criar grandes janelas ou até mesmo coberturas de vidro, permitindo o ganho solar, caso no qual o plano horizontal será o de maior incidência de radiação solar e conseqüentemente promoverá o maior ganho solar. O uso desses elementos envidraçados pode significar uma grande melhoria no conforto térmico em climas frios, já que, como visto na Figura 2.15, o vidro permite a penetração da radiação solar (e das ondas curtas dos raios infravermelhos), que por sua vez incide nas superfícies do interior da edificação aquecendo-as. Esse aquecimento produz irradiação de ondas longas dos raios

infravermelhos, as quais não têm a capacidade de atravessar o vidro, dessa maneira a energia fica presa dentro do ambiente, aumentando os ganhos de calor do local (efeito estufa).

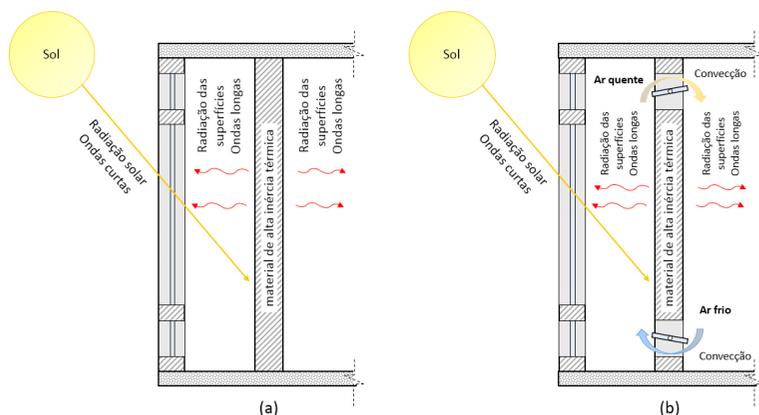
Figura 2.15 | Efeito estufa nas edificações



Fonte: elaborada pela autora.

Também é viável promover o aquecimento solar passivo por meio do ganho indireto, caso no qual um elemento acumulador é utilizado para absorver e transferir o calor para o interior da edificação através da irradiação das superfícies e da convecção. Alguns exemplos dessa técnica são: a parede Trombe, também conhecida como parede acumuladora, ou o solário dotado de jardins de inverno. A Figura 2.16 mostra alguns sistemas construtivos de paredes Trombe com função de aquecimento da edificação; no sistema "a" é apresentada uma parede acumuladora na qual o calor adquirido pela área envidraçada é armazenado em uma parede massiva e irradiado lentamente para o interior da edificação; já no sistema "b" temos uma parede acumuladora com o uso da convecção, nesta, além do ganho de calor pela parede, o ar frio do interior da edificação é constantemente trocado pelo ar aquecido da parede Trombe.

Figura 2.16 | Diferentes configurações de paredes Trombe para o aquecimento das edificações



Fonte: adaptada de Ziebell e Aymone (2017).



Refleta

Além das configurações das paredes Trombe apresentadas, existem configurações para o resfriamento da edificação. Para isso, faz-se uma abertura no ponto inferior na parede interna e outra no ponto superior da parede externa (área envidraçada), dessa maneira o ar aquecido da parede Trombe sai pela janela superior, dando lugar ao ar do interior da edificação e assim provocando passivamente um aumento na ventilação. Então, em quais situações você poderia aplicar essa técnica? E como poderia usar a mesma parede Trombe para aquecer os ambientes no inverno e resfriá-los no verão?



Pesquise mais

A parede Trombe pode ser uma boa aplicação da inércia térmica e aquecimento solar podendo aumentar ou reduzir a temperatura no interior dos ambientes dependendo de seu sistema construtivo, mas qual será a economia de energia que esta estratégia promove no Brasil? Uma sugestão para que você conheça um pouco mais sobre o assunto é a leitura do artigo indicado a seguir.

ZIEBELL, Clarissa Sartori.; AYMONE, José Luís Farinatti. Desempenho térmico de ambientes com parede trombe acumuladora no clima da serra gaúcha. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO

NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2017, Balneário Camboriú: ANTAC. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo28.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2017.



Assimile

Vamos relembra os principais conceitos aprendidos nesta seção?

Massa térmica para o aquecimento: uso de elementos de alta inércia térmica para acumular calor e reduzir a variação de temperatura.

Massa térmica para o resfriamento: uso de elementos alta inércia térmica para evitar o ganho excessivo de calor e reduzir a variação de temperatura.

Aquecimento solar: consiste em aquecer a edificação por meio da radiação solar que incide nela.

De posse desses novos conhecimentos, você já é capaz de compreender a inércia térmica e o aquecimento solar, sabendo inclusive verificar se sua aplicação é indicada para o clima local e propor aplicações em edificações.

Sem medo de errar

Refletindo sobre o edifício que receberá o retrofit, supomos que a massa térmica (para aquecimento/resfriamento) ou o aquecimento é indicado para o clima local e assim será necessário propor intervenções no projeto considerando a aplicação dessas estratégias. Vamos pensar um caminho possível?

Antes de decidir sobre as alternativas de aplicações possíveis, é necessário analisar as melhores opções para o caso em questão.

No caso da inércia térmica, é essencial avaliar se é viável aumentar a espessura das paredes ou aplicar matérias isolantes a fim de conseguir a massa necessária. Muitas vezes temos uma área limitada e, para aumentar a espessura das paredes, seria necessário perder área; além disso, no caso de um retrofit de um edifício tombado, por exemplo, intervir nas paredes pode não ser permitido.

Também é importante definir se a estratégia será aplicada para o resfriamento ou aquecimento do local. Caso deseje utilizá-la para o resfriamento, fique atento à possibilidade de reduzir o tamanho das aberturas ou sombreá-las, e também considere a ventilação noturna

como uma opção para potencializar os resultados. Caso a função seja o aquecimento, é importante estar atento à possibilidade de posicionar as aberturas para captar o sol e, também, de criar amplas áreas envidraçadas.

Para realizar o aquecimento solar, existem duas possibilidades: o uso do ganho de calor direto ou indireto. Para ambos os casos, sempre é importante criar grandes áreas envidraçadas no teto ou nas paredes, razão pela qual você deve verificar a viabilidade estrutural e se há tombamento.

Por fim, uma vez que é possível combinar as duas técnicas para melhores resultados, então avalie todas as limitações e possibilidades para criar um projeto eficiente.

Avançando na prática

Análise de aplicação da massa térmica

Descrição da situação-problema

Um escritório de arquitetura procura seu trabalho para uma consultoria sobre o uso de massa térmica para alcançar o conforto térmico em um projeto na Serra Gaúcha. Eles estão em dúvida sobre a estratégia, procuram saber se seria eficiente e quais seriam as recomendações para obter bons resultados por meio dela; além disso, buscam uma alternativa para caso ela não seja indicada.

Sendo assim, você solicita a média de algumas variáveis climáticas do local, para que seja possível analisar o clima, e recebe os seguintes valores:

Verão	Inverno
Temperatura de bulbo seco = 26°C Umidade relativa do ar = 70%	Temperatura de bulbo seco = 13°C Umidade relativa do ar = 40%

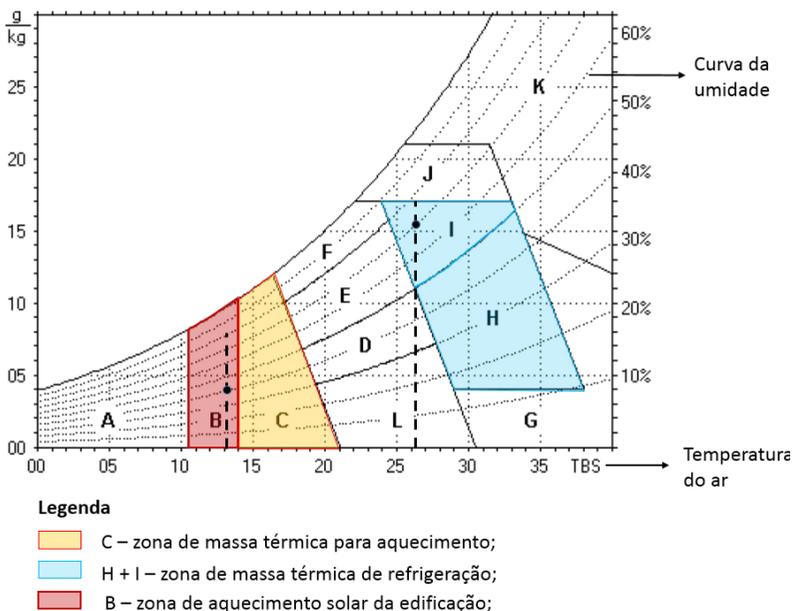
Nesse sentido, precisaremos analisar as variáveis climáticas utilizando a Carta de Givoni para que possamos fazer as recomendações corretas, apontando as vantagens para cada estação.

Resolução da situação-problema

Para identificar se a massa térmica é uma estratégia vantajosa, temos as seguintes etapas:

1. Encontre no gráfico o ponto referente ao verão. Trace uma linha vertical de apoio a partir da temperatura de 26°C até encontrar a curva de 70% de umidade relativa. Esse ponto representa a média da estação do verão.
2. Na sequência, repita o passo 1 com os dados do inverno (temperatura de bulbo seco = 13 °C e umidade relativa do ar = 40%) e encontre a média da estação. Os dois pontos traçados podem ser vistos na Figura 2.17.
3. Assim, é possível identificar de maneira simplificada que no verão é indicado o uso da massa térmica para o resfriamento e no inverno é mais recomendada a utilização do aquecimento solar.

Figura 2.17 | Carta de Givoni



Fonte: adaptada de Silveira (2014, p. 32).

4. Como não é possível implantar ou remover a massa térmica para cada estação, é necessário fazer uma opção de projeto. Quanto ao aquecimento solar, é possível propor um sombreamento móvel para os meses de verão. Aproveite esse espaço para pontuar as vantagens e recomendações para cada uma das estratégias indicadas.

Faça valer a pena

1. O aquecimento solar é uma estratégia que tem várias aplicações e consiste em aquecer a edificação por meio da radiação solar que incide na edificação, podendo ser alcançada através do ganho solar direto e indireto. Sobre o aquecimento indireto, avalie as afirmativas a seguir.

I. A estratégia utiliza um elemento acumulador para absorver e transferir o calor para o interior da edificação através da irradiação das superfícies e da convecção.

II. Um exemplo dessa técnica é o solário dotado de jardim de inverno.

III. A parede Trombe, também conhecida como parede acumuladora, é uma técnica que pode ser usada apenas para climas frios para o aquecimento indireto da edificação.

Com base no texto, qual alternativa elenca apenas afirmativas corretas.

- a) I.
- b) II e III.
- c) I e III.
- d) I e II.
- e) III.

2. Estratégias passivas para o aquecimento da edificação podem ser uma boa saída para reduzir o consumo energético em locais de climas frios. A Figura 2.18 mostra um edifício que aplica algumas dessas estratégias, adotando o uso de amplas superfícies envidraçadas e paredes espessas.

Figura 2.18 | Solário na mansão Moss – Billings, Estados Unidos



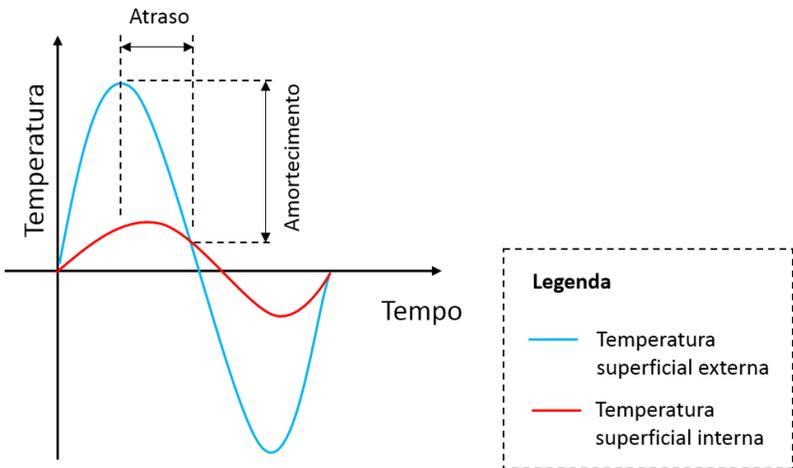
Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0d/Solarium_at_Moss_Mansion%2C_Billings%2C_Montana.jpg/640px-Solarium_at_Moss_Mansion%2C_Billings%2C_Montana.jpg>. Acesso em: 23 jan. 2018.

Considerando a imagem apresentada, qual a alternativa aponta corretamente as estratégias usadas nesta construção?

- a) Amplas superfícies envidraçadas e paredes espessas, também conhecidas como parede Trombe, são usadas para o aquecimento solar da edificação.
- b) Combinado, o uso de amplas superfícies envidraçadas e paredes espessas promove a inércia térmica e o aquecimento solar da edificação.
- c) Combinado, o uso de amplas superfícies envidraçadas e paredes espessas promove a massa térmica para o resfriamento.
- d) O uso de amplas superfícies envidraçadas e paredes espessas promove a massa térmica para o resfriamento e o aquecimento solar da edificação.
- e) O uso de amplas superfícies envidraçadas promove a inércia térmica, já as paredes espessas o fazem o aquecimento solar da edificação.

3. A inércia térmica é a capacidade de um elemento de armazenar calor e liberá-lo lentamente, conforme mostra a Figura 2.19.

Figura 2.19 | Exemplo de curvas de variação da temperatura superficial (interna e externa) de paredes externas com alta inércia térmica



Fonte: adaptada de Frota e Schiffer (2001, p. 51).

Com base na figura, avalie as afirmativas a seguir:

I. A temperatura superficial interna de uma parede com alta inércia térmica é mais amena e apresenta uma variação menor que a externa.

PORQUE

II. Em uma superfície ensolarada com alta inércia térmica o calor recebido é transferido apenas após determinado tempo (tempo de atraso térmico); além disso parte desse calor é perdido ao atravessar a parede (fator de amortecimento térmico).

Após a análise das afirmativas, assinale a alternativa correta.

- a) Ambas as afirmativas são verdadeiras, e a afirmativa I justifica a II.
- b) Ambas as afirmativas são verdadeiras, mas uma não justifica a outra.
- c) Apenas a afirmativa I está correta.
- d) Ambas as afirmativas são verdadeiras, e a afirmativa II justifica a I.
- e) Apenas a afirmativa II está correta.

Seção 2.3

Ventilação natural

Diálogo aberto

Dando continuidade ao projeto de retrofit, você é sócio em um escritório de arquitetura e está se dedicando à aplicação dos conceitos de conforto térmico em seus projetos. Esse projeto específico é de retrofit de um edifício na sua cidade, onde passará a funcionar uma loja de decoração. Na seção anterior, supusemos que a inércia térmica (para aquecimento ou resfriamento) ou o aquecimento solar fosse indicada para esse clima, e foram pensadas possíveis aplicações dessas estratégias em projeto. Para tanto, você conheceu como funcionam as estratégias de inércia térmica e aquecimento solar e também compreendeu as diferenças na aplicação da inércia térmica para resfriamento e aquecimento.

Desta vez, vamos assumir que a ventilação natural é uma estratégia bioclimática recomendada para o seu clima. Então avalie a atual situação do edifício, verificando e se seria possível melhorar a ventilação natural. Considerando esse caso, quais possíveis modificações no projeto poderiam ser feitas? Que tal descrever suas ideias com desenhos e palavras?

Para conseguir realizar essas análises, antes de tudo você precisará conhecer as funções da ventilação e os parâmetros que a influenciam, além de ser necessário compreender como ocorre a ventilação por ação do vento e por diferença de temperatura e pressão e ver algumas aplicações práticas da estratégia.

Vamos começar?

Não pode faltar

A ventilação como estratégia climática é proposta para 99,2% do nosso território (ABNT, 2005), não sendo uma recomendação apenas para a zona 1 (região mais fria do país abrangendo cidades como Caxias do Sul). Nesse sentido, embora fique clara a sua importância para o conforto térmico em um país tropical como o Brasil, como podemos promovê-la com sucesso?

Funções da ventilação

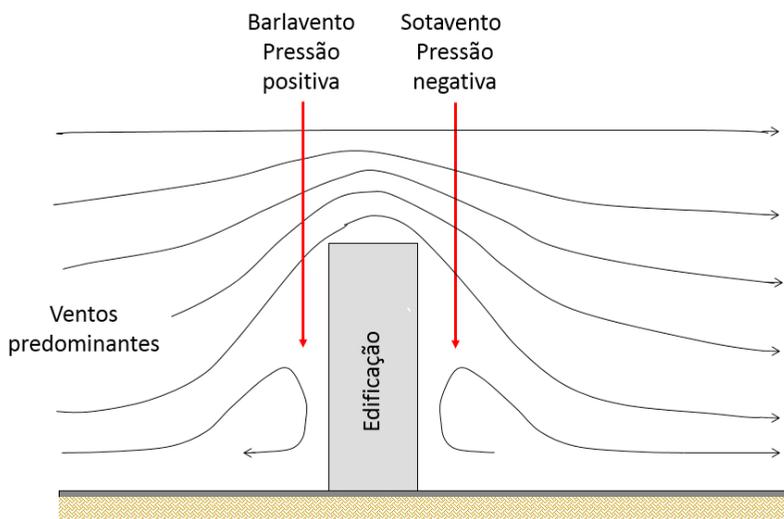
A ventilação, seja ela natural (que depende apenas de fenômenos naturais) seja ela forçada (que depende de equipamentos), desempenha três funções: faz a troca do ar para higienizar o ambiente, provoca a diminuição da temperatura superficial de objetos e paredes, e, como vimos anteriormente, melhora a sensação de conforto térmico em dias quentes (RIVERO, 1986).

Ventilação por ação do vento e efeito chaminé

A ventilação natural em um ambiente depende da diferença de pressão entre a abertura de entrada de ar e a abertura de saída do ar, em que o ar se desloca da área de pressão positiva para a negativa. Essa diferença de pressão pode ser ocasionada por dois fenômenos: a ação dos ventos e o efeito chaminé (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O deslocamento do ar que ocorre por força dos ventos é conhecido como ação dos ventos, sendo a face de incidência dos ventos conhecida como barlavento (pressão positiva) e a face oposta é chamada de sotavento (pressão negativa), como ilustra a Figura 2.20.

Figura 2.20 | Fluxo dos ventos incidindo em uma edificação visto em corte, destacando as fachadas a barlavento e sotavento



Fonte: elaborada pela autora.

Já o efeito chaminé é o deslocamento do ar por diferença da densidade do ar e temperatura entre o interior e o exterior. Como o ar quente é menos denso que o ar frio, este tende a subir dando lugar ao ar mais frio (mais denso) e gerando movimentação do ar. Assim, para aproveitar esse fenômeno, é necessário que haja não somente a diferença de temperatura, mas também diferença de altura, ou seja, é necessário que haja uma abertura baixa (próxima ao piso, por exemplo) e outra mais alta (próxima do teto ou acima dele).

Na prática, tanto a ação dos ventos quanto o efeito chaminé ocorrem simultaneamente, já que de modo geral há uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior de uma edificação, e também há movimento do ar externo.

Parâmetros que influenciam a ventilação natural

A ventilação é uma das variáveis do conforto térmico mais difíceis de prever e altamente influenciada tanto pelo entorno (mesoclima) quanto pelo próprio edifício (microclima). Assim, é importante conhecer quais fatores a influenciam para dar suporte ao projeto.

Nesse sentido, os principais parâmetros que podemos citar são: a velocidade do ar, a direção dos ventos em relação à abertura de entrada de ar, a proporção, o tamanho e a posição das aberturas na fachada, o coeficiente de descarga das janelas e a carga térmica do edifício (CÓSTOLA, 2006).

A velocidade do ar é um parâmetro de grande influência na ventilação natural, pois, apesar de ser possível lançar mão do efeito Venturi para aumentar a velocidade do ar pontualmente, caso a velocidade externa do ar seja baixa, não é possível alcançar uma velocidade média mais alta no interior da edificação sem o apoio mecânico (MEDINILHA; LABAKI, 2016).



Exemplificando

Para compreender a aplicação do efeito Venturi na ventilação natural, vamos supor um fluxo de ar constante atravessando um cômodo (4 x 4m) com duas janelas estreitas de 0,5m de largura e 2,0m de altura (ver Figura 2.21). **$Q = A \times V$**

Sendo:

Q= vazão;

A= área;

V= velocidade do fluxo.

Considerando o fluxo constante, temos que o fluxo que passa pela janela J1 (Q_1) deve ser igual ao fluxo no centro de cômodo passando pelo ponto 2 (Q_2), assim, vemos que:

$$Q_1 = Q_2$$

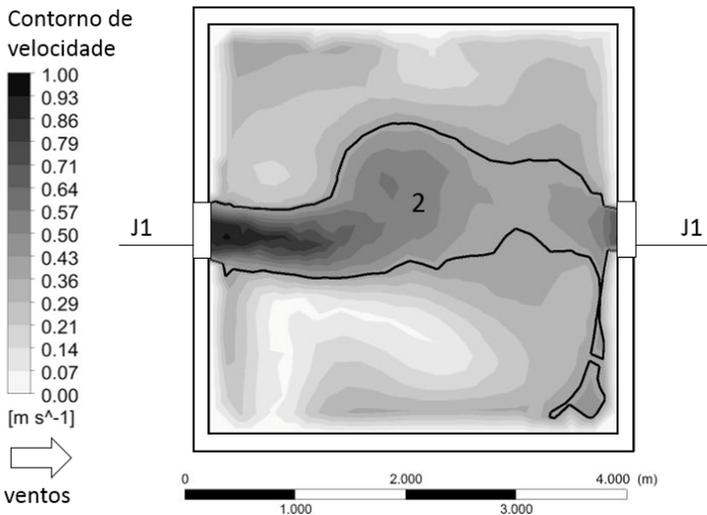
$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2.$$

Para que essa equação seja verdadeira, como a área de vazão da janela (A_1) é menor que a área da seção no centro do cômodo (A_2), a velocidade do fluxo na janela (V_1) deve ser maior que a velocidade que passa no centro do cômodo (V_2), como podemos ver a seguir.

Então, quando $A_1 < A_2 \Rightarrow V_1 > V_2$.

A Figura 2.21 mostra uma simulação do fluxo de ar desse cômodo e apresenta o gradiente de velocidades em seu interior visto em planta. Assim, podemos ver claramente que na região próxima da janela há um aumento de velocidade, já no centro do cômodo as velocidades são menores, comprovando o fenômeno descrito anteriormente, conhecido como efeito Venturi.

Figura 2.21 | Contorno de velocidade em um cômodo pequeno visto em planta demonstrando o efeito Venturi



Fonte: adaptada de Medinilha e Labaki (2016, p. 1295).



Pesquise mais

A descoberta do efeito Venturi citado anteriormente teve origem em um experimento desenvolvido por Giovanni Battista Venturi. Para compreender o que foi esse teste, fica a sugestão da leitura do seguinte texto, disponível em: <<https://bit.ly/30652B0>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

A direção dos ventos em relação à abertura de entrada de ar também tem grande influência na eficiência da ventilação natural (LUKIANCHUKI et al., 2016). O ideal é sempre posicionar uma das aberturas no sentido predominante dos ventos (barlavento) e outra no sentido oposto (sotavento), de modo que a diferença de pressão cria movimento de ar. Da mesma forma, ambientes com janelas posicionadas perpendiculares ao sentido predominante dos ventos não apresentam boa ventilação.



Refleta

Quando é inviável o posicionamento das aberturas no sentido predominante dos ventos, é possível redirecionar os ventos com elementos de projeto ou do paisagismo favorecendo a ventilação no sentido das aberturas. Já parou para pensar em como o plantio de maciços arbóreos podem não somente promover a umidificação, mas também redirecionar o fluxo de ar? E qual é a influência, em uma escala urbana, do posicionamento dos edifícios na ventilação dos ventos de outras edificações?

A tamanho das aberturas e proporção, assim como sua posição na fachada, está ilustrado na Figura 2.22. O primeiro parâmetro apresenta grande influência velocidade do ar no interior dos ambientes, mas é preciso lembrar que grandes tamanhos de aberturas também significam maior ganho de calor, razão pela qual em climas quentes é também necessário sombrear as aberturas.

Já a proporção e a posição das aberturas não têm grande interferência na velocidade média do ar, mas influenciam a homogeneidade do fluxo de ar no interior dos ambientes. Nesse sentido, usando janelas quadradas o fluxo é mais homogêneo que as estreitas; além disso, aberturas posicionadas na altura do usuário possibilitam boas velocidades nessa altura.

Figura 2.22 | Esquema demonstrativo dos parâmetros proporção, tamanho e posição das aberturas na fachada



Fonte: adaptada de Medinilha-Carvalho (2017, p. 46).

A quantidade de ventilação que penetra uma abertura também depende do tipo de caixilho, por exemplo, uma janela de abrir permite maior ventilação que uma janela maxim-ar. O coeficiente de descarga das janelas representa a parcela de ar que penetra a abertura para diferentes tipos de aberturas e varia de 1 (quando não há perdas) a 0 (quando todo fluxo de ar é obstruído) (CÓSTOLA; ALUCCI; ETHERIDGE, 2009).

Como vimos, a diferença de temperatura entre dois pontos pode gerar movimento do ar, de forma que em um edifício com maior carga térmica (mais aquecido) pode ocorrer maior ou menor diferença de temperatura entre o ambiente interno e externo, alterando consequentemente o fluxo de ar.



Pesquise mais

Como vimos, a posição das aberturas, assim como a implantação dos edifícios, tem grande influência no fluxo de ar no interior dos prédios e deve ser considerada em projeto. O laboratório de conforto ambiental da USP (LCA) disponibilizou vídeos de vários ensaios realizados em uma mesa d'água demonstrando essa influência. Acesse o link a seguir para assistir aos vídeos. Disponível em: <<https://www.youtube.com/channel/UCCJiHC128OqypCI3wnhac2g>>. Acesso em: 5 dez. 2017.

Aplicações práticas

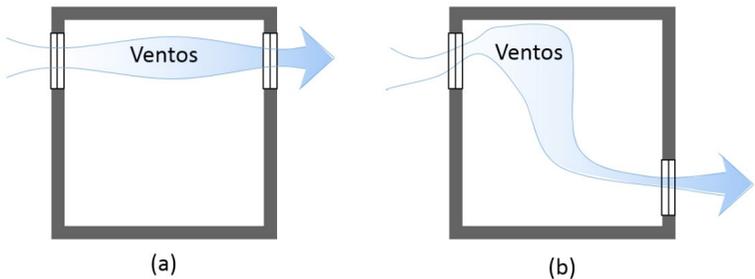
Existem inúmeras estratégias para promover a ventilação natural se valendo da ação do vento, do efeito chaminé ou de ambos. Alguns exemplos dessas estratégias seriam: ventilação cruzada, chaminé solar, captadores de vento, cobertura ventilada e ventilação noturna. Ao projetar um edifício é possível considerar uma ou mais estratégias combinadas para aproveitar o recurso da ventilação natural dependendo das possibilidades que cada situação permitir.



Vamos ver alguns exemplos de aplicações dessas estratégias?

Uma dica importante para promover uma ventilação bem distribuída pelo cômodo é o posicionamento das aberturas em paredes opostas do cômodo, possibilitando que ocorra a ventilação cruzada. Na Figura 2.23 vemos exemplos de aplicação desse conceito: na situação (a) o vento se concentra apenas em um canto do cômodo devido à posição alinhada das aberturas; já na situação (b) (com as janelas posicionadas de maneira desalinhadas) o vento percorre todo o ambiente.

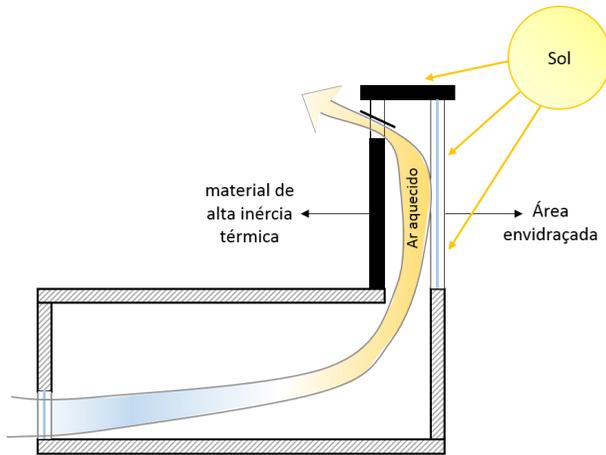
Figura 2.23 | Posicionamento em planta das aberturas em um cômodo: (a) sem a aplicação da ventilação cruzada; (b) e com a ventilação cruzada



Fonte: elaborada pela autora.

Outra estratégia seria aproveitar o efeito chaminé para aumentar a ventilação de um ambiente com a chaminé solar, que pode ser uma ótima solução em locais com baixa velocidade do ar externo ou com fachadas muito obstruídas pelo entorno. Para isso, constrói-se uma chaminé com a face de maior insolação envidraçada (norte) e nas outras faces se utiliza um material de alta inércia térmica, de forma que o ar no interior do duto da chaminé é aquecido e gera deslocamento do ar (Figura 2.24) por uma abertura superior.

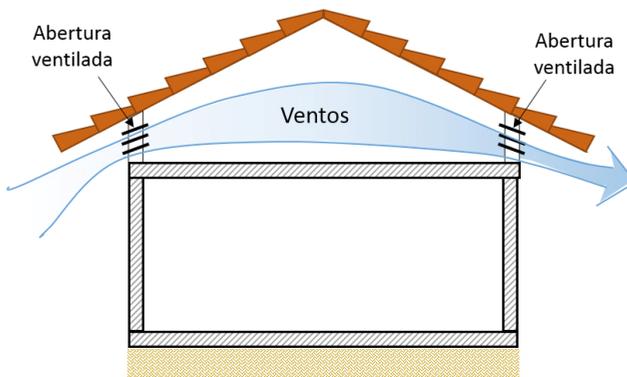
Figura 2.24 | Esquema em corte do funcionamento de uma chaminé solar



Fonte: adaptada de Neves & Roriz (2012, p. 183).

Como o plano horizontal (cobertura) é o de maior incidência de radiação solar, ele tende a absorver muito calor, aquecendo a edificação. Enquanto para locais frios essa pode ser uma boa estratégia para promover o aquecimento solar passivo, em locais quentes esse calor não é bem-vindo. Assim, a cobertura ventilada é uma maneira de remover o excesso de calor absorvido pelas coberturas, evitando que ele seja transferido para o interior da edificação (Figura 2.25).

Figura 2.25 | Esquema em corte da cobertura ventilada



Fonte: elaborada pela autora.



Pesquise mais

Os captadores de ventos podem ser aplicados em locais com baixas velocidades dos ventos na altura da fachada e são utilizados a muitos anos em países árabes. Uma leitura interessante que analisa a eficácia desses elementos é o artigo sugerido a seguir.

ANDRADE, Nixon et al. Influência do número de divisórias dos captadores de vento na ventilação natural de edificações. p. 814-823, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_486.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

Que tal conhecer mais sobre essa técnica milenar?



Refleta

A ventilação pode ser um método muito eficiente para remover o ar quente das edificações e também melhorar a sensação térmica para os usuários em climas quentes. Apesar disso, quando o ar externo está mais quente que o interno, não é eficiente promover a ventilação natural, pois o ar aquecido aumentaria os ganhos de calor no interior da edificação. Então, em dias quentes quais seriam os melhores horários para promover a ventilação? Que tal pensar na ventilação noturna para remover o excesso de calor acumulado durante o dia?

Como dito anteriormente, abrir as janelas para que o vento percorra a edificação nem sempre é a melhor solução para melhorar o conforto térmico dos ambientes. No inverno, por exemplo, a ventilação deve ser controlada e serve apenas para troca higiênica do ar. Então, no caso do verão, em determinados momentos do dia as temperaturas externas podem ser maiores que as internas, de forma que a ventilação traria para dentro da edificação o ar quente externo, aumentando o desconforto por calor; já durante a noite as temperaturas externas tendem a ser mais baixas que as internas, razão pela qual a ventilação melhoraria o conforto térmico. Desse modo, a ventilação noturna colabora com a redução da temperatura interna da edificação não somente durante a noite, mas também nas primeiras horas do dia.



Vamos rever alguns dos principais conceitos da seção?

Ventilação por ação dos ventos: ventilação passiva que ocorre pela diferença de pressão causada pela força dos ventos.

Efeito chaminé: deslocamento do ar que ocorre pela diferença de densidade do ar e temperatura.

Agora que já conhece as funções da ventilação e os parâmetros que a influenciam e também compreende como ocorre a ventilação por ação do vento e por diferença de temperatura, você é capaz de pensar em diferentes possibilidades de aplicações estratégicas em projeto.

Sem medo de errar

Dando continuidade ao projeto de retrofit, assumimos que a ventilação natural é uma estratégia bioclimática recomendada para o seu clima. Agora, vamos avaliar qual seria a sua melhor aplicação para edifício em questão. Vejamos como fazê-lo.

Existem inúmeras possibilidades para a aplicação da ventilação natural, algumas das quais foram abordadas na seção, como: ventilação cruzada, chaminé solar, captadores de vento, cobertura ventilada e ventilação noturna.

Ao considerar o emprego da ventilação cruzada, é necessário considerar a possibilidade de criar novas aberturas na fachada, e também os recuos da edificação; outro ponto importante é a possibilidade de direcionar a abertura de entrada do ar a barlavento.

Já no caso das chaminés solares e captadores de vento, só é viável a aplicação em edifício de poucos pavimentos, onde é possível atravessar os pavimentos com o duto da chaminé. Essa pode ser uma boa solução quando não há chance de interferir na fachada (em um edifício tombado, por exemplo).

Ao pensar na cobertura ventilada, é importante lembrar que ela só terá efeito no último pavimento e não permite a ventilação no interior do cômodo, sendo necessário o acoplamento com outras aplicações da ventilação natural na altura do usuário.

Por fim, a ventilação noturna é recomendada para remover o calor do interior dos ambientes que foi acumulado durante o dia, trazendo ar mais frio para dentro do edifício. Nesse sentido, é preciso pensar sobre

a segurança do local, pois será necessário manter as janelas abertas a noite toda.

Então, refletindo sobre como seria possível promover a ventilação natural no projeto em questão, represente suas ideias com desenhos e palavras.

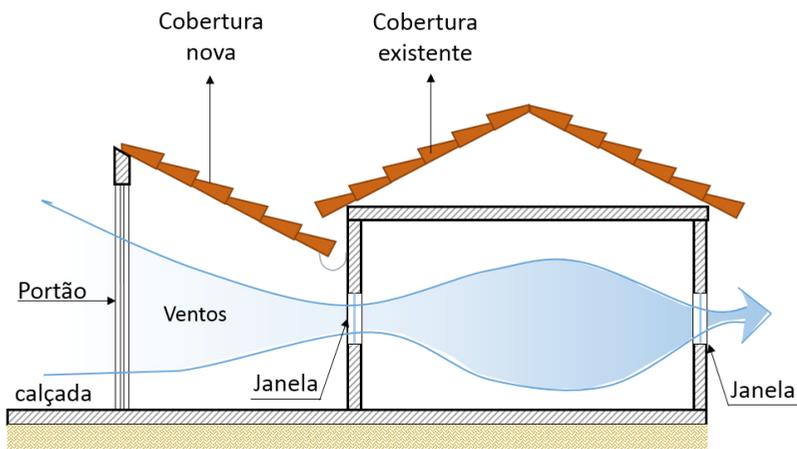
Avançando na prática

Controle da ventilação

Descrição da situação-problema

Um cliente procura seu escritório com um problema incomum: após construir uma nova cobertura para a garagem, as velocidades do ar próximas às janelas passaram a ser muito altas, provocando incômodo (Figura 2.26).

Figura 2.26 | Esquema em corte da ventilação do estudo de caso



Fonte: elaborada pela autora.

Então, qual fenômeno explicaria o ocorrido? E quais soluções podem ser propostas para solucionar o caso?

Resolução da situação-problema

Vamos ver a explicação para essa situação?

Apesar do tamanho das aberturas da janela e do portão não terem mudado, antes da cobertura ser construída, parte o fluxo de ar era desviado por cima da cobertura existente, de forma que o fluxo de ar

não era o mesmo no portão e na janela. Na situação atual, a vazão do fluxo de ar é mantida constante devido à canalização do ar pela nova cobertura e aplica-se o efeito Venturi, ou seja, como a área de vazão da janela é menor que a área de vazão do portão de entrada, a velocidade do fluxo na janela aumenta para que seja mantido o fluxo. A equação a seguir descreve a situação com a nova cobertura:

$$Q = A \cdot V$$

Q= vazão

A= área

V= velocidade do fluxo

Sendo:

$$Q_{\text{portão}} = Q_{\text{janela}}$$

$$A_{\text{portão}} * V_{\text{portão}} = A_{\text{janela}} * V_{\text{janela}}$$

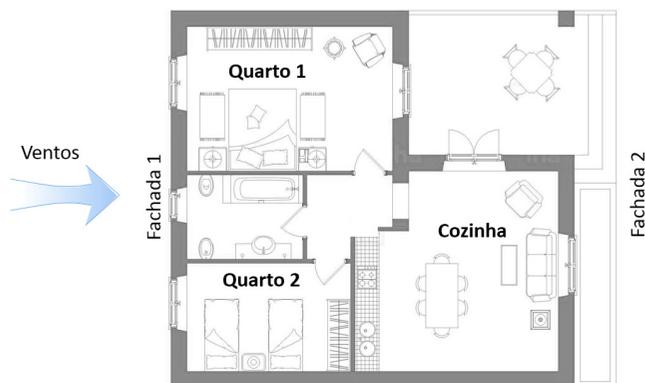
Então, quando $A_{\text{portão}} < A_{\text{janela}} \Rightarrow V_{\text{portão}} > V_{\text{janela}}$.

Assim, existem algumas soluções, como: aumentar a área de vazão da janela ou reduzir a área de vazão do portão, modificando o tipo de caixilho ou o tamanho do vão, ou então o plantio de vegetação na calçada em frente ao portão, servindo como redutora da velocidade do ar.

Faça valer a pena

1. A Figura 2.27 mostra a planta de uma residência com a direção predominante dos ventos indicada.

Figura 2.27 | Planta de uma residência em Versilia, Itália



Fonte: adaptada de Ilha Holiday Ads (2017).

Analise as seguintes afirmações com base na figura apresentada:

I. A fachada 1 está localizada a sotavento e a fachada 2 está localizada a barlavento.

II. No quarto 1 não foi aplicada a ventilação cruzada.

III. A ventilação da cozinha depende da abertura das janelas dos quartos e banheiro, pois não possui janelas a barlavento.

Considerando o exposto, qual alternativa elenca apenas afirmativas verdadeiras?

- a) I, II e III.
- b) I e II.
- c) II e III.
- d) III.
- e) I e III.

2. O captador de ventos, assim como a chaminé solar, pode ser aplicado em locais com baixas velocidades dos ventos na altura da fachada. A Figura 2.28 mostra um captador de ventos construído no Irã.

Figura 2.28 | Captador de vento em Yazd, Irã



Fonte: Commons Wikimedia, 2017. Disponível em <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yazd_-_Badgir_-_Windcatcher_-_panoramio.jpg>. Acesso em: 5. dez. 2017.

Com relação ao captador de ventos e à chaminé solar, qual alternativa apresenta a afirmação correta?

- a) O captador de ventos aproveita o efeito chaminé enquanto a chaminé solar usa o efeito Venturi para promover a ventilação de um ambiente, assim, enquanto o primeiro deve ter faces envidraçadas, o outro deve ter aberturas pequenas para ser eficiente.
- b) A chaminé solar aproveita o efeito chaminé para promover a ventilação,

sendo composta por uma face de maior insolação envidraçada (norte) e nas outras faces se utiliza um material de alta inércia térmica, assim o ar no interior do duto da chaminé é aquecido e gera movimento do ar por uma abertura superior.

c) Tanto as chaminés solares quanto os captadores de vento só são viáveis em edifício onde é possível criar grandes aberturas a barlavento e podem ser uma boa solução quando não há chance de interferir na fachada a sotavento.

d) A chaminé solar aproveita o efeito chaminé enquanto os captadores de vento usam o efeito Venturi para promover a ventilação de um ambiente, assim enquanto o primeiro deve ter faces envidraçadas, o outro deve ter aberturas pequenas para ser eficiente.

e) A chaminé solar aproveita o efeito chaminé para promover a ventilação, sendo composta por uma torre com materiais de baixa inércia térmica, assim o ar no interior do duto da chaminé é aquecido e gera movimento do ar por uma abertura superior.

3. Os principais parâmetros que influenciam a ventilação natural no ambiente construído são: a velocidade do ar, a direção dos ventos em relação à abertura de entrada de ar, a proporção, o tamanho e a posição das aberturas na fachada, o coeficiente de descarga das janelas e a carga térmica do edifício. O quadro a seguir apresenta recomendações relativas a alguns desses parâmetros de forma desordenada.

I. Direção dos ventos em relação à abertura de entrada de ar	A. A janela de abrir é uma boa opção para permitir maior ventilação; caso se deseje reduzir a ventilação, é possível adotar uma janela maximizar ou com telas mosquiteiro.
II. Proporção das aberturas	B. O ideal é sempre posicionar uma das aberturas no sentido predominante dos ventos (barlavento) e outra no sentido oposto (sotavento), assim a diferença de pressão cria movimento de ar.
III. Coeficiente de descarga das janelas	C. É recomendado usar janelas quadradas, em vez de janelas estreitas, para se obter um fluxo mais homogêneo.

Qual alternativa relaciona corretamente os parâmetros e suas respectivas recomendações?

a) I- A; II- C; III- B.

b) I- B; II- A; III- C.

c) I- C; II- B; III- A.

d) I- C; II- A; III- C.

e) I- B; II- C; III- A.

Referências

ANDRADE, Nixon et al. Influência do número de divisórias dos captadores de vento na ventilação natural de edificações. p. 814–823, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_486.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005. 12 p.

CÓSTOLA, Daniel. **Ventilação por ação do vento no edifício: procedimentos para quantificação**. 2006. 235 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

CÓSTOLA, Daniel; ALUCCI, Márcia P; ETHERIDGE, David. Caracterização de janelas no cálculo de vazão por meio do coeficiente de descarga. In: ENCONTRO NACIONAL, 10.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009. p. 829–836.

FERNANDES, Antônio Manuel C P. **Carta Psicrométrica 750m**. Goiânia, Universidade Católica de Goiás, 2017. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/home/disciplina.asp?key=812&id=593>>. Acesso em: 13 out. 2017.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

ILHA HOLIDAY ADS. Casa de campo Individual, piso térreo, entrada individual, em uma propriedade de luxo. Disponível em: <https://s.ih.com/7228100006536/Arrendamento-ferias-Piano-di-conca-Casa-de-campo_6.jpeg>. Acesso em: 3 nov. 2017.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2014. p. 382.

LUKIANCHUKI, Marieli Azoia et al. Sheds extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 83-104, jan. 2016.

MEDINILHA, Talita Andrioli; LABAKI, Lucila Chebel. **Let's open these windows! The influence of opening design parameters on natural ventilation**. Los Angeles: PLEA, 2016.

MEDINILHA-CARVALHO, Talita Andrioli. **Impacto do dimensionamento de sistemas de aberturas no desempenho térmico de edifícios naturalmente ventilados pela ação dos ventos**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em

Arquitetura) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP). 2017.

NEVES, Leticia de Oliveira; RORIZ, Maurício. Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 177-192, 2012.

PIXABAY. Parede de plantas. SL, 2012. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/parede-de-plantas-parede-verde-52750/>>. Acesso em: 13 out. 2017.

PXHERE. Telhado de grama, Hofskirkja, Igreja de relvado, Upplysingar. SL, 2017. Disponível em: <<https://pxhere.com/pt/photo/865008>>. Acesso em: 13 out. 2017.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima**. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente**: nbr 15575 e ashrae 55. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014.

TEIXEIRA, Carla Fernanda Barbosa; LABAKI, Lucila Chebel. **Resfriamento evaporativo em coberturas: estudo de caso em Campinas (SP)**. 2006, Florianópolis: ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006. p. 902-909. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_0902_909.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.

WIKIMEDIA COMMONS. Alhambra. SL, 2017. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/Alhambra>>. Acesso em: 13 out. 2017.

WIKIMEDIA COMMONS. Solarium at Moss Mansion, Billings, Montana. SL, 2017. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/Alhambra>> Acesso em: 13 out. 2017.

WIKIMEDIA COMMONS. Yazd – Badgir – Windcatcher. SL, 2017. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yazd_-_Badgir_-_Windcatcher_-_panoramio.jpg>. Acesso em: 3 nov. 2017.

ZIEBELL, Clarissa Sartori.; AYMONE, José Luís Farinatti. Desempenho térmico de ambientes com parede trombe acumuladora no clima da serra gaúcha. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO, 14.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRuíDO, 10., 2017, Balneário Camboriú: ANTAC. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo28.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2017.

Normas de desempenho térmico, conceito e cálculo

Convite ao estudo

Nas unidades anteriores pudemos compreender conceitos básicos do conforto térmico, e conhecemos diversas estratégias bioclimáticas, assim como quando elas podem ser aplicadas, mas qual será o melhor material para compor uma parede ou cobertura em determinado clima? E quanto ao tamanho das aberturas, como determinar sua área para que seja eficiente?

Visando nortear a elaboração de projetos adequados ao clima brasileiro foram elaboradas diretrizes para a seleção dos elementos construtivos (normas NBR 15220 e NBR 15575). Nesta unidade iremos conhecer estas normas de desempenho térmico, seu conceito e método de cálculo.

Relembrando o projeto de retrofit que seu escritório está desenvolvendo, você já refletiu sobre as possíveis estratégias bioclimáticas a serem aplicadas? Para isso foi necessário se aprofundar nas estratégias bioclimáticas que se aplicam ao clima brasileiro, como o resfriamento evaporativo, umidificação, massa térmica, aquecimento solar, e a ventilação natural. Agora que você já decidiu quais estratégias serão aplicadas no seu projeto, é o momento de avaliar o envelope do edifício e verificar se ele atende às normas de desempenho térmico. Para isso será necessário conhecer as normas NBR 15220 e NBR 15575 e também compreender como se dá a transferência de calor, e o cálculo de transmitância térmica das superfícies (verticais e horizontais). Que tal conhecermos estes novos conceitos?

Na Seção 3.1 serão apresentadas as normas de desempenho térmico (NBR 15220 e NBR 15575), seus objetivos e requisitos.

Então na Seção 3.2, compreenderemos alguns novos conceitos como as transferências secas de calor, a definição de condução de calor e convecção, assim como as propriedades dos materiais, e a definição de resistência térmica.

Já na Seção 3.3, aprenderemos a realizar o cálculo de transmitância térmica de elementos horizontais e verticais a fim de analisar o desempenho térmico de paredes e coberturas.

Ao final da unidade você será capaz de analisar o atendimento dos requisitos do desempenho térmico de edificações segundo as normas brasileiras, além de propor modificações para a adequação caso se aplique. Vamos começar?

Seção 3.1

Introdução às normas de desempenho térmico

Diálogo aberto

Na unidade anterior você avaliou a possibilidade de aplicar diversas estratégias bioclimáticas no projeto de retrofit que seu escritório está desenvolvendo, assim foram analisados o resfriamento evaporativo, a umidificação, o aquecimento solar, a massa térmica para resfriamento e aquecimento, e a ventilação natural. Assim, foi essencial assimilar conceitos importantes e a compreensão das estratégias bioclimáticas, como: as transferências úmidas de calor, a inércia térmica e o efeito Venturi.

Agora que você já pensou em aplicações práticas para aplicar o resfriamento evaporativo ou a umidificação como estratégia bioclimática no projeto de retrofit, que tal pensarmos sobre as propriedades dos elementos construtivos do envelope do edifício? Levando em conta a zona bioclimática em que seu projeto se localiza, vamos identificar quais os requisitos mínimos exigidos pelas normas de conforto térmico para essa zona?

Neste sentido será necessário conhecer as normas de desempenho térmico brasileiras (NBR 15220 e NBR 15575), seus objetivos e requisitos para os componentes construtivos. Vamos ver quais são eles?

Não pode faltar

Para orientar os projetistas quanto à escolha dos componentes construtivos e suas dimensões, foram desenvolvidas duas normas de desempenho térmico no Brasil, a NBR 15220 e a NBR 15575. Vamos conhecê-las?

NBR 15220

A norma tem caráter apenas orientativo e se divide em 5 partes. A parte 1 se refere a definições, símbolos e unidades importantes para a compreensão das outras partes. Já a parte 2 apresenta o método

de cálculo da transmitância térmica e capacidade térmica, do atraso térmico, além do fator solar de elementos e componentes de edificações (assunto que abordaremos na Seção 3 desta unidade). A parte 3 já conhecemos na primeira unidade do curso e contém o zoneamento bioclimático brasileiro, assim como diretrizes construtivas para edificações de interesse social. Por fim a parte 4 e 5 propõem métodos de medição da resistência térmica e da condutividade térmica.

O Quadro 3.1 apresenta algumas definições presentes na parte 1 da NBR 15220 importantes para compreendermos a norma NBR 15575, vejamos:

Quadro 3.1 | Definições de grandezas físicas relativas à transmitância térmica e capacidade

Grandeza	Definição	Símbolo	Unidade
Absortância à radiação solar	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.	α	-
Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.	λ	$\text{W}/(\text{m.K})$
Resistência térmica de elementos e componentes	Quociente da diferença de temperatura de elementos e componentes verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.	R	$(\text{m}^2.\text{K})/\text{V}$
Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.	R_T	$(\text{m}^2.\text{K})/\text{V}$
Transmitância térmica	Inverso da resistência térmica total.	U	$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$
Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.	C	J/K

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15220 (2005, p. 2-3).

A absortância à radiação solar (α) é um importante fator para o conforto térmico, em climas quentes o ideal é usar materiais com baixa absortância, ou seja, com cores claras, já em climas quentes deve ser feito o oposto. Já a transmitância térmica está relacionada

à quantidade de calor que passa por um elemento, e por fim, outro relevante aspecto é a capacidade térmica, que se relaciona como a massa térmica do elemento.



Pesquise mais

Algumas boas fontes para se conhecer a absorvância, transmitância e capacidade térmica dos materiais são a NBR 15220 - parte 2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 8 fev. 2018) e o anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 (Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2018). Qual serão as melhores cores para se pintar uma parede no seu clima?

NBR 15575

Esta norma teve a publicação posterior à NBR 15220 e tem caráter normativo, assim os requisitos mínimos de conforto térmico apresentados na NBR 15575 substituem aqueles da NBR 15220.

A NBR 15575 se divide em 6 partes e aborda o desempenho dos componentes construtivos em muitos aspectos além do conforto térmico, como: estruturas, acústica, segurança contra incêndio, dentre outros. As partes 1 (requisitos gerais), 4 (requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas) e 5 (requisitos para os sistemas de coberturas), abordam o conforto térmico e a avaliação da eficiência energética.

Para avaliar a eficiência energética da edificação são possíveis dois métodos: o procedimento simplificado/prescritivo (que se baseia no atendimento de requisitos de desempenho) ou o procedimento da simulação computacional (que deve ser realizada de acordo com as especificações da norma). Caso a edificação não atenda aos requisitos mínimos de desempenho é obrigatória a avaliação através do método da simulação computacional para demonstrar o bom desempenho da edificação.

São colocados requisitos de desempenho diferentes para cada zona bioclimática brasileira (definidas na NBR 15220). Os elementos que devem atender a estes requisitos são as paredes externas e a cobertura.

Para as paredes externas, o fechamento deve atender ao mesmo tempo os critérios de transmitância e capacidade térmica

apresentados nos Quadros 3.2 e 3.3. Note que no Quadro 3.2 é possível adotar valores mais altos de transmitância térmica caso a absorvância da parede seja baixa. Isso significa que ao pintar uma parede de cor clara é possível utilizar um fechamento que deixa passar mais calor sem perder em conforto térmico, já que grande parcela do calor que incide na parede é refletida para o exterior. Em se tratando da capacidade térmica não é feita a relação com a absorvância do material, e para a zona 8 não há limites para o requisito.

Quadro 3.2 | Transmitância térmica mínima das paredes externas requerida pela NBR 15575

Transmitância térmica (U) [W/(m ² K)]		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).

Quadro 3.3 | Capacidade térmica mínima das paredes externas requerida pela NBR 15575

Capacidade térmica (CT) [kJ/m ² K]	
Zonas 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).



Exemplificando

Vejamos um exemplo de aplicação destes requisitos para a cidade de Campinas (zona 3), será que uma edificação de paredes de 12 cm de concreto aparente é suficiente para atender à NBR 15575?

Primeiro é necessário identificar a absorvância (α) consultando a NBR 15220- parte 2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 8 fev. 2018) ou o anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 (<http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2018). Neste caso vamos considerar o $\alpha = 0,65$ conforme a NBR 15220.

Então verifica-se na Tabela 3.2 a transmitância e capacidade térmica mínima das paredes externas. No caso como $\alpha > 0,6$ então $U \leq 2,5$ W/(m²K) e $CT \geq 130$ kJ/m²K.

Na sequência se busca no anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 a transmitância e capacidade térmica da parede de concreto aparente de 12 cm. Assim se verifica $U = 4,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $CT = 288 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$.

Assim podemos concluir que esta composição de parede externa não está adequada ao clima local. Uma composição que atenderia aos requisitos seria o bloco cerâmico (14,0 x 9,0 x 24,0cm) sem revestimento externo, que possui $U = 2,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $CT = 56 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$.

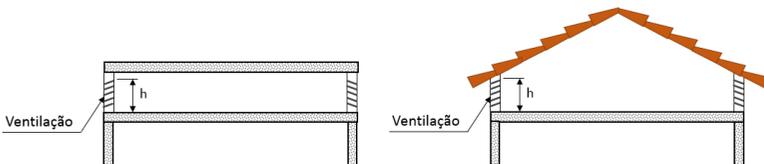
Já para as coberturas os requisitos se dividem em três classes, mínimo (M), intermediário (I), superior (S); sendo o atendimento do desempenho mínimo obrigatório, e os outros dois são apenas sugestões para níveis mais elevados de construção. Além disso, é necessário apenas atender transmitância térmica, porém para as zonas 7 e 8 é recomendado o uso da cobertura ventilada já que são climas quentes, esta ventilação está representada pelo fator FV.

Quadro 3.4 | Transmitância térmica mínima de coberturas requerida pela NBR 15575

Transmitância térmica (U) [W/(m²K)]					
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5 e 6		Zonas 7 e 8		Nível de desempenho
$U \leq 2,3$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Mínimo (M)
	$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3.FV$	$U \leq 1,5.FV$	
$U \leq 1,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Intermediário (I)
	$U \leq 1,5$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,5.FV$	$U \leq 1,0.FV$	
$U \leq 1,0$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha > 0,4$	Superior (S)
	$U \leq 1,0$	$U \leq 0,5$	$U \leq 1,0.FV$	$U \leq 0,5.FV$	

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15575-5 (2013, p. 52).

Figura 3.1 | Telhados ventilados com a variável altura da abertura (h) identificada



Fonte: adaptada de ABNT NBR 15575-5 (2013, p. 52).

O fator FV pode ser calculado através da fórmula abaixo:

$$FV = 1,17 - 1,07 * h^{-1,04}$$

Sendo:

FV = fator de correção da transmitância devido à ventilação

h = altura da abertura em dois beirais opostos (cm) – ver Figura 3.1



Exemplificando

Vamos analisar um telhado inclinado de chapas de fibrocimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada (0,50 cm de ventilação) localizado na cidade de Manaus (zona 8), será que a composição atende à NBR 15575?

1- Primeiro é necessário identificar a absorvância (α) consultando a NBR 15220 - parte 2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>. Acesso em: 8 fev. 2018) ou o anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 (<http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2018). Neste caso vamos considerar o $\alpha = 0,65$ conforme a NBR 15220.

2- Depois é necessário calcular o fator FV da cobertura, através da fórmula:

$$FV = 1,17 - 1,07 \times h^{-1,04}$$

$$FV = 1,17 - 1,07 \times 50^{-1,04}$$

$$FV = 1,1517$$

3- Então verifica-se na Tabela 3.4 a transmitância mínima da cobertura e se multiplica pelo valor FV. No caso como $\alpha > 0,4$ então $U \leq 1,5 * FV$, sendo FV= 1,1517 então $U \leq 1,725 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

4- Na sequência se busca na página 18 da NBR 15220 a transmitância do telhado inclinado de chapas de fibrocimento com forro de pinus e câmara de ar ventilada. Assim se verifica $U_{\text{verão}} = 2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $U_{\text{inverno}} = 3,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Assim podemos concluir que esta composição de cobertura não está adequada ao clima local em nenhuma das estações. Uma composição que atenderia aos requisitos no verão seria telhado

inclinado de chapas de fibrocimento com forro de pinus, lâminas de alumínio polido e câmara de ar ventilada, que possui $U_{\text{verão}} = 1,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ABNT NBR 15220 (2005, p. 20). Assim basta a instalação de uma manta de alumínio sob o telhado para se adequar à norma.



Assimile

Como vimos, a norma NBR 15575 estipula requisitos mínimos para fechamentos opacos verticais (paredes) e horizontais (coberturas). Vamos relembra r quais critérios cada um deve atender?

Fechamentos opacos verticais: deve atender ao mesmo tempo os critérios de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) apresentados nas Tabelas 3.2 e 3.3. Neste sentido é importante recordar que para diferentes absorvâncias (α) da superfície externa se têm um limite de transmitância (U).

Fechamentos opacos horizontais: deve atender apenas à transmitância térmica (U) do componente. Sendo que para as zonas 7 e 8 deve ser considerado o fator de correção da transmitância devido à ventilação (FV).



Refleta

Observando a Tabela 3.4 nota-se em alguns casos que basta pintar as coberturas de cor mais clara para se elevar o nível de desempenho de mínimo para intermediário. Assim, um telhado sem ventilação ($FV=1,17$) na zona 8 e com telhas vermelhas ($\alpha =0,74$) deve ter $U \leq 1,755 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ para que esteja dentro dos limites mínimos, por exemplo uma cobertura de telha cerâmica, câmara de ar ($> 5,0 \text{ cm}$) e forro PVC (1,0cm) com $U=1,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; já esta mesma composição com telhas cor palha teria uma absorvância de 0,36 e se enquadraria no desempenho intermediário. Como podemos tirar proveito deste recurso para dar maior qualidade aos ambientes?

Agora você já conhece alguns conceitos importantes apresentados pela NBR 15220 e também os requisitos mínimos da NBR 15575. De posse destes novos conhecimentos você é capaz de avaliar o desempenho térmico da envoltória das edificações em qualquer zona bioclimática brasileira, sabendo inclusive fazer recomendações para a melhoria do seu desempenho.

Sem medo de errar

Retomando o projeto de retrofit chegou o momento de avaliar o desempenho térmico dos elementos construtivos do envelope do edifício segundo a NBR15575. Vejamos o passo a passo:

1. Antes de mais nada, reveja a qual zona bioclimática a cidade onde o projeto se localiza se enquadra (verificamos esta informação na Unidade 1).
2. Então se identifica a absorvância (α) das paredes externas consultando a NBR 15220 - parte 2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 8 fev. 2018) ou o anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 (Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2018).
3. Depois verifica-se no Quadro 3.2 a transmitância e capacidade térmica mínima das paredes externas para a absorvância (α) encontrada.
4. Na sequência se busca no anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 a transmitância e capacidade térmica das paredes externas que compõem a edificação.
5. Assim podemos identificar se esta composição de parede está adequada ao clima local, ou seja, se está dentro dos limites requeridos pela NBR 15575.
6. Então partimos para a análise da cobertura; vamos identificar a absorvância (α) consultando a NBR 15220 - parte 2 ou o anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013.
7. Caso o edifício se encontre nas zonas 7 ou 8, devemos calcular o fator FV da cobertura, caso contrário pula-se este passo. O FV é dado pela fórmula: $FV = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04}$.
8. Então verifica-se na Tabela 3.4 a transmitância mínima da cobertura, caso o fator FV se aplique deve-se multiplicá-lo pela transmitância mínima.
9. Na sequência se busca no anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 a transmitância da cobertura em questão.

10. Assim podemos concluir se esta composição de cobertura é adequada ao clima local ou não.
11. Por fim, é possível propor novas configurações de paredes externas ou cobertura caso não se adequem ao clima.

Avançando na prática

Consultoria de desempenho térmico

Descrição da situação-problema

Um arquiteto de São Paulo está realizando um projeto para um cliente de Presidente Prudente, mas como tem pouca experiência com a região, está preocupado quanto à melhor escolha de matérias para a cobertura da edificação. Então ele apresenta a você um anteprojeto indicando cobertura tipo caixote (telhado de baixa inclinação escondido por platibanda), como segue:

- Laje nervurada - Altura 22,5 cm (altura da nervura 15 cm, largura da nervura 10 cm, espessura da lâmina 7,5 cm, distância entre vãos 50 cm).
- Vazios com preenchimento de poliestireno 40 x 40 cm câmara de ar (> 5,0 cm).
- Telha de fibrocimento.

Para completar essa tarefa é necessário conhecer os requisitos para coberturas segundo a NBR 15575 e também identificar as propriedades desta composição de cobertura. Vamos lá?

Resolução da situação-problema

Um caminho possível para a resolução da situação seria:

Identifica-se que a cidade de Presidente Prudente pertence à zona bioclimática 6 consultando a norma 15220 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 9 fev. 2018).

Em seguida se identifica que a absorvância (α) do fibrocimento é de 0,65 através da NBR 15220 - parte 2.

Então verifica-se no Quadro 3.4 a transmitância mínima da cobertura. No caso como $\alpha > 0,6$ então $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Na sequência se busca a transmitância da cobertura no anexo V da portaria INMETRO nº 50/2013 (Disponível em: <<http://www>.

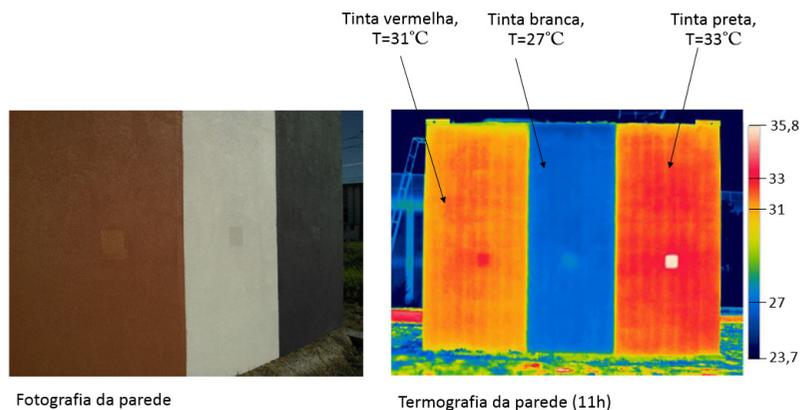
pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2018). Assim se verifica $U = 1,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Assim podemos concluir que esta composição de cobertura está adequada ao clima local atendendo apenas ao mínimo requerido. Uma possível sugestão ao arquiteto seria elevar o nível do desempenho térmico da edificação para intermediário pintando a telha de uma cor clara. Ou então, pode-se combinar uma cor clara com uma composição de maior desempenho como uma laje maciça 10,0 cm, câmara de ar ($> 5,0 \text{ cm}$), telha sanduíche (telha metálica* 0,1 cm/ poliestireno (isopor) 4,0 cm/telha metálica* 0,1 cm), resultando em um $U = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e desempenho superior.

Faça valer a pena

1. A absorvância à radiação solar (α) é um importante fator para o conforto térmico. A Figura 3.2 mostra uma fotografia de uma parede oeste pintada de diferentes cores (ou seja, diferentes absorvâncias) e sua termografia às 11h da manhã (imagem produzida com uma câmera térmica que permite identificar a distribuição da temperatura).

Figura 3.2. Fotografia e termografia (às 11h) de uma parede oeste apresentando diferentes absorvâncias.



Fonte: adaptada de Gonçalves, Matias e Rodrigues (2014).

Com base na figura avalie as afirmativas abaixo:

I. A imagem demonstra que as cores escuras têm maior capacidade de absorver o calor que as cores claras, visto que onde há pintura branca a

temperatura chega a ser 6 °C menor que onde há pintura preta.

Porque

II. Materiais com cores claras apresentam alta absorvência à radiação solar, já nas cores escura ocorre o contrário.

Após a análise das afirmativas, assinale a alternativa correta:

- a) Apenas a afirmação I está correta.
- b) Apenas a afirmação II está correta.
- c) Ambas as afirmações estão corretas e a II justifica a I.
- d) Ambas as afirmações estão corretas e a I justifica a II.
- e) Ambas as afirmações estão corretas, mas uma não é justificativa da outra.

2. A norma NBR 15220 introduz definições, símbolos e unidades importantes para a compreensão de conceitos do conforto térmico. O quadro abaixo apresenta algumas dessas grandezas e suas definições de forma desordenada.

Quadro 3.5 | Definições de grandezas físicas relativas a Transmitância térmica e capacidade térmica

Grandeza	Definição
I. Absortância à radiação solar (α)	A. Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.
II. Resistência térmica de elementos e componentes (R)	B. Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.
III. Transmitância térmica (U)	C. Quociente da diferença de temperatura de elementos e componentes verificado entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.
IV. Capacidade térmica (C)	D. Inverso da resistência térmica total.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15220 (2005, p. 2-3).

Qual a alternativa que relaciona corretamente grandezas e suas respectivas descrições?

- a) I-A; II- C; III-B; IV-D.
- b) I-B; II- C; III-A; IV-D.
- c) I-A; II- C; III-D; IV-B.
- d) I-B; II- A; III-C; IV-D.
- e) I-C; II- A; III-D; IV-B.

3. Ao iniciar a reforma de um edifício antigo localizado em Poços de Calda - MG (zona 1), você decide verificar se a composição das paredes atende a NBR 15575 no quesito do conforto térmico. Para isso solicita a perfuração de uma das paredes externas para identificar a composição das suas camadas, sendo elas: placa de gesso (1,25 cm), lâ de rocha (4 cm), placa cimentícia (1 cm), resultando em $U = 0,90$ [W/(m²K)] e $CT = 29$ kJ/m²K. Com base nestes dados avalie o desempenho das paredes considerando os quadros abaixo:

Quadro 3.6 | Transmitância térmica mínima das paredes externas requerida pela NBR 15575

Transmitância térmica (U) [W/(m ² K)]		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).

Quadro 3.7 | Capacidade térmica mínima das paredes externas requerida pela NBR 15575

Capacidade térmica (CT) [kJ/m ² K]	
Zonas 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4 (2013, p. 27).

Tomando como base os dados apresentados, qual alternativa apresenta a afirmação correta?

- A parede não atende os requisitos necessários para adequação à zona 1, tanto a capacidade quanto a transmitância térmica estão abaixo dos limites.
- A parede não atende os requisitos necessários para adequação à zona 1, pois apesar da capacidade térmica estar dentro dos limites mínimos a transmitância térmica está abaixo do limite.
- A parede atende os requisitos necessários para adequação à zona 1, tanto a capacidade quanto a transmitância térmica estão dentro dos limites.
- A parede atende os requisitos necessários para adequação à zona 1, pois como transmitância térmica está dentro dos limites mínimos, a capacidade térmica não importa.
- A parede não atende os requisitos necessários para adequação à zona 1, pois apesar da transmitância térmica estar dentro dos limites mínimos a capacidade térmica está abaixo do limite.

Seção 3.2

Transferência de calor e comportamento dos materiais

Diálogo aberto

Na seção passada pensamos sobre as propriedades dos elementos construtivos do envelope do edifício, assim consideramos a zona bioclimática em que o projeto de retrofit se localiza e identificou quais os requisitos mínimos exigidos pelas normas de conforto térmico para o local. Assim foi preciso conhecer as normas de desempenho térmico brasileiras (NBR 15220 e NBR 15575), seus objetivos e requisitos para os componentes construtivos.

Depois de considerar as normas de conforto térmico você conheceu algumas propriedades térmicas do envelope dos edifícios, tendo visto a transmitância térmica (U) [$W/(m^2K)$] e capacidade térmica (CT) [kJ/m^2K] de parede e telhados. Então um membro da equipe levanta um questionamento, quais serão os fenômenos que estão envolvidos nas trocas de calor no edifício em questão, e como podemos relacionar essas trocas com os requisitos mínimos identificados na última seção?

Para compreender melhor estes mecanismos de troca de calor, que tal fazer um desenho esquematizando o processo em uma parede externa do edifício onde sua equipe está propondo o retrofit? Para tanto é preciso atenção a todos os fenômenos que veremos a seguir e também aos já aprendidos.

Não pode faltar

Para compreender as trocas de calor no edifício é importante conhecer não apenas as trocas úmidas de calor (como vimos na unidade anterior), mas também as trocas secas de calor como veremos na sequência.

Transferências secas de calor

Segundo Frota e Schiffer (2001) as trocas térmicas secas são aquelas que envolvem mudança de temperatura sem incluir a água

no processo, assim os fenômenos relacionados às trocas secas de calor são: a condução, convecção e a radiação.

Condução de calor

A troca de calor por condução só ocorre quando há contato molecular entre sólidos e também diferença de temperatura, assim é possível que ocorra entre dois corpos que se tocam ou até mesmo entre partes do mesmo corpo (RIVERO,1986). O fluxo de calor devido à condução depende da condutividade térmica (λ) e espessura do componente, assim como da diferença de temperatura, como descreve a fórmula a seguir:

$$q_{cd} = \frac{\lambda}{e} \times (\theta_e - \theta_i)$$

Sendo:

q_{cd} = Intensidade do fluxo térmico por condução $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

λ = Condutividade térmica $\left[\frac{W}{m \times ^\circ C} \right]$

e = Espessura do componente $[m]$

θ_e = Temperatura da superfície externa do componente $[^\circ C]$

θ_i = Temperatura da superfície interna do componente $[^\circ C]$

Troca de calor por radiação

Sabendo que todo corpo possui energia interna, é possível ocorrer a troca de calor entre dois corpos que não se tocam, desde que o meio que os separa permita a passagem das ondas emitidas por um dos corpos, este processo é conhecido como troca de calor por radiação (RIVERO, 1986). Esta transmissão de calor se dá de três maneiras, através da recepção, emissão e transmissão de energia radiante.

A capacidade de um corpo de emitir calor radiante é dada pela sua emissividade (ϵ), ou seja, "Quociente da taxa de radiação emitida por

uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura” (ABNT, 2005, p. 3), variando de 0 a 1.

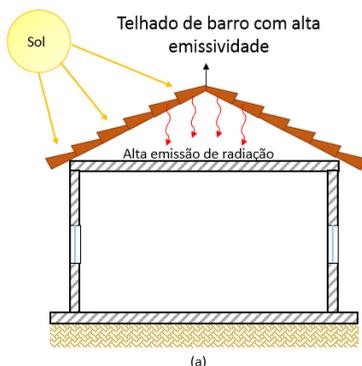
Na prática não se encontra na natureza materiais com emissividade 0, as matérias de construção com menores valores são os metálicos (variando de 0,05 a 0,25), como chapas de alumínio ou aço, já materiais como concreto aparente, tijolo aparente, reboco claro e tintas comuns têm a emissividade compreendida entre 0,85 e 0,95 (ABNT, 2005). É importante ressaltar que esta é uma propriedade da camada superficial do componente, podendo ser alterada com pinturas ou aplicação de matérias sobre o elemento (RIVERO, 1986).

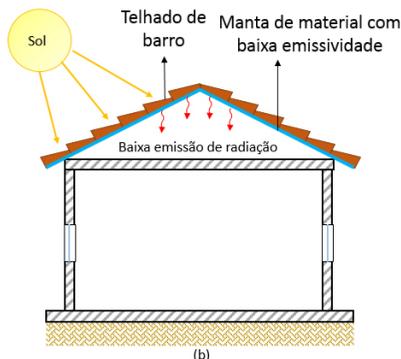


Exemplificando

Um exemplo da aplicação desta propriedade na construção é a colocação de mantas metálicas sob um telhado de barro para amenizar o ganho de calor em dias quentes, assim é possível reduzir a emissão do calor absorvido pelo telhado para o ambiente interno da edificação (ver Figura 3.3).

Figura 3.3 | Telhado apenas com telha de barro (a) e com a aplicação de manta com material baixo emissivo (b).





Fonte: elaborada pelo autor.

Já a recepção da radiação está associada à propriedade absorvância à radiação (α), vista na seção anterior, que se refere à parcela de energia radiante que é absorvida por um corpo e então transformada em calor. Neste sentido é importante ressaltar que a absorvância (α) de um corpo varia para diferentes comprimentos de onda. Mais adiante veremos alguns exemplos disponíveis na norma NBR 15220, que se referem apenas à absorvância para ondas curtas (como o infravermelho da radiação solar).



Refleta

Como vimos, a absorvância e a emissividade de um material podem ter grande influência no ganho térmico das edificações, então já parou para pensar como estas propriedades influenciam os prédios ao seu redor? Que tal pensar em alguns exemplos nos quais você pode notar a diferença de temperatura em ambientes semelhantes, mas com materiais construtivos com diferentes absorvâncias e emissividades?

Por fim, quando se trata da transmissão da energia radiante, refere-se à parcela que atravessa um meio transparente ao seu comprimento de onda, a exemplo da radiação solar que é transmitida pelo vidro (meio transparente a radiação de ondas curtas). Esta transmissão dependerá da dimensão dos corpos envolvidos assim como da diferença de temperatura (RIVERO, 1986), podendo

ocorrer inclusive no vácuo. Este fenômeno pode ser descrito pela equação abaixo

$$q_r = h_r \times (\theta - \theta_r)$$

Sendo:

$$q_r = \text{Intensidade do fluxo térmico por radiação} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$h_r = \text{Coeficiente de trocas térmicas por radiação} \left[\frac{W}{m \times ^\circ C} \right]$$

$$\theta = \text{Temperatura da superfície da parede considerada} \left[^\circ C \right]$$

$$\theta_r = \text{Temperatura radiante relativa às demais temperaturas} \left[^\circ C \right]$$

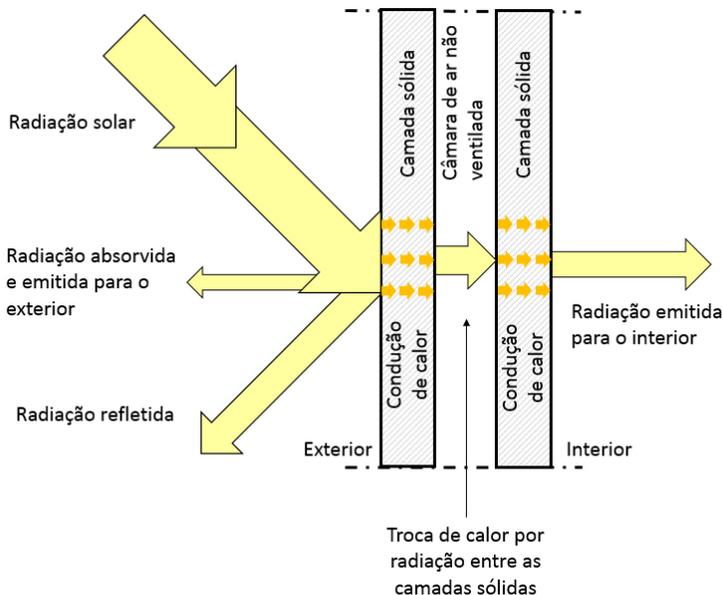


Exemplificando

Um exemplo da transmissão de calor por radiação nos componentes da construção é uma parede composta por várias camadas sendo uma delas uma câmara de ar não ventilada. Vamos entender como ocorre este fenômeno?

Como se vê no esquema da Figura 3.4, quando a radiação solar incide na parede externa, parte da sua energia é refletida, parte absorvida. Uma porção da energia absorvida é então emitida para o exterior por radiação, e outra porção transmitida através da camada sólida por condução. Quando esta energia encontrar a câmara de ar não ventilada ocorre a troca de calor por radiação, assim a energia radiante emitida pela camada sólida externa é absorvida pela camada sólida interna. Então ocorre a transmissão de calor por condução entre as partes da mesma camada até que esta energia encontre o ar novamente. Por fim, o calor é transmitido para o interior da edificação por radiação.

Figura 3.4 | Esquema do processo de troca de calor por radiação em uma parede com câmara de ar não ventilada.



Fonte: elaborada pelo autor.

Convecção

Para que ocorra a convecção natural é necessário que haja diferença de temperatura entre dois corpos e que pelo menos um deles seja um fluido (como o ar ou a água), assim o fluido se aquece retirando calor do segundo corpo, tornando-se menos denso e, portanto, ascende dando lugar ao fluido mais frio e gerando movimento.



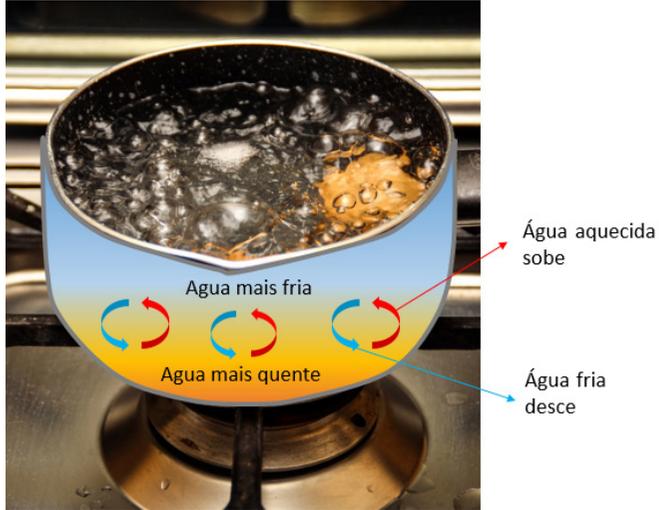
Exemplificando

Um exemplo deste fenômeno em nosso dia a dia é uma panela de água fervendo. Já notou que conforme a água começa a se aquecer o fluido se movimenta?

Isso se dá devido à convecção natural por diferença de temperatura como se vê na Figura 3.5, neste caso a água em contato com o fundo

da panela quente se aquece e se torna menos densa, então este fluido sobe dando lugar ao ar mais frio causando movimento d'água.

Figura 3.5 | Esquema do processo de convecção que ocorre em uma panela com água em ebulição.



Fonte: adaptada de PXHERE (2017).

Segundo Frota e Schiffer (2001), para a construção civil o fluxo térmico envolvido na convecção pode ser descrito pela equação:

$$q_c = h_c \times (t - \theta)$$

Sendo:

$$q_c = \text{Intensidade do fluxo térmico por convecção} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$h_c = \text{Coeficiente de trocas térmicas por convecção} \left[\frac{W}{m^2 \times ^\circ C} \right]$$

$$t = \text{Temperatura do ar} \left[^\circ C \right]$$

$$\theta = \text{Temperatura da superfície do sólido} \left[^\circ C \right]$$

Na construção este fenômeno pode ser observado próximo a superfícies aquecidas, como uma parede exposta ao calor. Nesta situação a parede transfere calor ao ar que então ascende gerando movimento em uma fina camada do fluido rente à parede (ocasionado uma resistência térmica superficial). Esta resistência depende de vários fatores, como: "a emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas" (ABNT, 2005, p. 8). A resistência térmica superficial interna e externa pode ser determinada de acordo como anexo A da NBR 15220 conhecendo a posição da camada (interna ou externa) e o sentido do fluxo de calor, como veremos na próxima seção.

Propriedades dos materiais

Como vimos acima, a absorptância (α) e a emissividade (ϵ) dos materiais são propriedades importantes dos materiais que têm grande influência nas trocas secas de calor. A Tabela 3.7 apresenta estas propriedades para alguns materiais comuns na construção civil.

Quadro 3.8 | Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns

TIPO DE SUPERFÍCIE	α	ϵ
CHAPA DE ALUMÍNIO (NOVA E BRILHANTE)	0,05	0,05
CHAPA DE ALUMÍNIO (OXIDADA)	0,15	0,12
CHAPA DE AÇO GALVANIZADA (NOVA E BRILHANTE)	0,25	0,25
CAIAÇÃO NOVA	0,12 / 0,15	0,90
CONCRETO APARENTE	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
TELHA DE BARRO	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
TIJOLO APARENTE	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
REBOCO CLARO	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
REVESTIMENTO ASFÁLTICO	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
VIDRO INCOLOR	0,06 / 0,25	0,84
VIDRO COLORIDO	0,40 / 0,80	0,84
VIDRO METALIZADO	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
PINTURA:		

BRANCA	0,20	0,90
AMARELA	0,30	0,90
VERDE-CLARA	0,40	0,90
“ALUMÍNIO”	0,40	0,50
VERDE-ESCURA	0,70	0,90
VERMELHA	0,74	0,90
PRETA	0,97	0,90

Fonte: adaptada de ABNT (2005, p. 8).

Como explicado anteriormente, é possível notar que materiais de cores claras têm baixos valores de absorvância, sendo os escuros bons absorventes de radiação de onda curta. Já para a emissividade observa-se que a cor não tem influência na propriedade, sendo os materiais não metálicos os melhores emissores de radiação de ondas longas.

Resistência térmica dos componentes construtivos

Vimos na NBR 15220 a resistência térmica como “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (ABNT, 2005, p. 2). De posse destes novos conhecimentos sobre trocas de calor, é possível uma compreensão mais extensiva deste conceito. Vamos tomar uma parede externa como exemplo.

Em paredes externas durante o dia há ganho de calor através da radiação solar (ondas curtas), troca de calor que está relacionada à absorvância térmica da superfície externa do componente. Então esta energia será emitida para o meio em forma de ondas longas (fluxo de calor ligado à emissividade da superfície). Além disso, também ocorre a troca de calor com o meio devido à convecção entre o ar próximo da superfície interna e externa e a parede, fator que se relaciona com o coeficiente de trocas térmicas por convecção (h_c). Já entre as camadas acontece a troca de calor por condução, que depende da espessura e condutividade das camadas e também da diferença de temperatura.



Nesta seção aprendemos vários conceitos físicos importantes para a compreensão dos cálculos que aprenderemos na próxima seção, então que tal recordar quais são eles?

Condução – troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos sólidos (ou partes de um mesmo corpo) que se tocam.

Troca de calor por radiação – ocorre entre dois corpos que não se tocam, desde que o meio que os separa permita a passagem das ondas emitidas por um dos corpos.

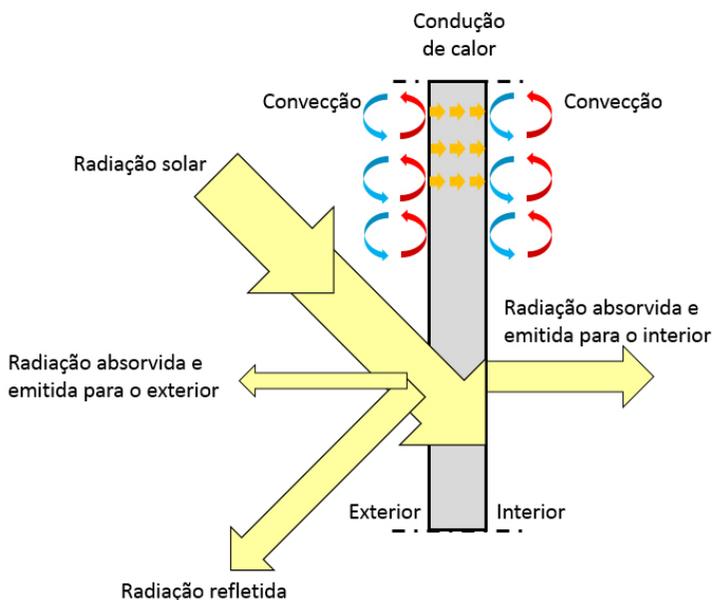
Convecção – troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos que se tocam, sendo pelo menos um deles fluido e provoca movimento deste.

Conhecendo estes importantes conceitos físicos sobre trocas de calor e como as propriedades térmicas dos materiais os influenciam, você já compreende melhor os principais mecanismos envolvidos nas trocas de calor em um edifício e pode relacioná-los com situações do dia a dia e também pensar em aplicações em projeto.

Sem medo de errar

Para compreender melhor como se dão as trocas de calor no edifício onde sua equipe está propondo um retrofit fica decidido fazer um desenho esquematizando estes mecanismos em uma parede externa do edifício em questão. Neste sentido também devemos analisar como as propriedades físicas dos materiais vistas na seção anterior influenciam estes fenômenos de trocas de calor. Vejamos um exemplo de análise:

Figura 3.6 | Corte de uma parede esquematizando sinteticamente os fenômenos de troca de calor ocorridos em um dia quente em superfície opaca externa.



Fonte: adaptada de Frota e Schiffer, (2001, p. 42).

A Figura 3.6 representa de maneira simplificada os mecanismos de trocas secas ocorridos em uma superfície opaca externa em dias quentes (radiação, condução e convecção). Devido à incidência da radiação solar, ocorre a recepção, emissão e transmissão de energia radiante (troca de calor entre dois corpos que não se tocam). Além disso, devido à diferença de temperatura entre a superfície externa e interna da parede acontece a troca de calor por condução. E por fim, próximo à parede exposta ao calor ocorre a convecção, ou seja, a transferência de calor do sólido ao fluido causando a ascensão do mesmo.

Então reflita no seu caso como ocorrem estes fenômenos para representá-los corretamente. Lembre-se de que caso as paredes tenham uma câmara de ar não ventilada entre as camadas ocorrerá a troca de calor por radiação e não condução nesta região.

Aplicação das propriedades absorvância e a emissividade em parede norte

Descrição da situação-problema

Um cliente procura o seu escritório em buscas de soluções para um sério problema que enfrenta em sua casa, o aquecimento excessivo de uma parede norte está elevando a temperatura do cômodo anexo gerando desconforto térmico por calor. O local funciona como sala de televisão, mas a permanência no local é impossível em algumas horas do dia.

Como no local não há a possibilidade de promover o sombreamento na parede em questão, como seria possível a aplicação das propriedades absorvância (α) e a emissividade (ϵ) dos materiais para solucionar este problema? Que tal explicar como pode se dar o emprego destas para amenizar o calor e os fenômenos envolvidos como palavras e desenhos?

Resolução da situação-problema

Na situação apresentada uma possível solução é aplicar materiais de cores claras na face externa da parede, ou seja, com baixos valores de absorvância à radiação solar. Assim como a absorvância influencia a capacidade de um componente de receber a radiação, ocorreria uma menor absorção da radiação incidente.

Já a face interna deveria ser tratada com material de baixa emissividade, já que a propriedade está relacionada à capacidade de uma superfície de emitir radiação. Assim, a colocação de materiais de mantas metálicas, ou a aplicação de pinturas metalizadas na face interna da parede norte, pode amenizar o ganho de calor em dias quentes, sendo possível reduzir a emissão do calor absorvido pela parede para o ambiente interno da edificação.

Em suma, ao associar a baixa refletância na face externa e a baixa emissividade na parede interna, é possível obter bons resultados no sentido da redução do ganho de calor por uma superfície opaca em ambientes construídos.

Faça valer a pena

1. Dentre as propriedades térmicas dos materiais pode de destacar a absorptância (α) e a emissividade (ϵ) dos materiais quando se trata de trocas secas por radiação. Neste sentido, leia com atenção as afirmativas abaixo:

I. Materiais de cores claras têm baixos valores de absorptância, sendo os escuros bons absorventes de radiação de onda curta.

II. A cor não tem influência na emissividade de um material, sendo os materiais não metálicos os melhores emissores de radiação de ondas longas.

III. A absorptância influencia na capacidade de um componente de receber a radiação, já a emissividade está relacionada à capacidade de um corpo de emitir radiação.

IV. Apenas a absorptância de um material varia com o comprimento de onda da radiação, já a emissividade é sempre a mesma tanto para ondas curtas como longas.

Com base no texto acima, qual alternativa apresenta apenas afirmações verdadeiras?

- a) III e IV apenas.
- b) I, II, e III apenas.
- c) I e II apenas.
- d) I e IV apenas.
- e) II, III e IV apenas.

2. No dia a dia podemos observar vários exemplos das trocas secas de calor, um destes casos são as fogueiras nas festas de São João, nestes eventos quando nos aproximamos do fogo ainda que sem tocá-lo podemos sentir o seu calor aquecer a nossa pele.

Com relação ao exemplo dado no texto base, qual alternativa explica corretamente o fenômeno descrito?

a) Isso se dá devido à fogueira emitir radiação de ondas longas, e como o ar é opaco a todos os comprimentos de onda, ocorre a transmissão de calor por convecção.

b) O fenômeno descrito é a radiação, troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos que se tocam, sendo pelo menos um deles fluido.

c) Isso se dá devido à fogueira emitir radiação de ondas longas, e como o ar é transparente a todos os comprimentos de onda, ocorre a transmissão de calor por radiação.

d) A situação da fogueira é um típico caso de condução, no qual ocorre a troca de calor por diferença de temperatura entre dois corpos sólidos (ou partes de um mesmo corpo) que se tocam.

e) O fenômeno descrito é a convecção, que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos sólidos (ou partes de um mesmo corpo) que não se tocam.

3. Segundo Frota e Schiffer (2001), trocas de calor que envolvem variações de temperatura são denominadas trocas secas, em contraposição à denominação de trocas úmidas, relativas às trocas térmicas que envolvem a água. Os mecanismos de trocas secas são convecção, radiação e condução.

Com relação às trocas secas de calor, qual das alternativas descreve corretamente os fenômenos citados?

a) A condução é a troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos que se tocam, sendo pelo menos um deles fluido.

b) A troca de calor por radiação ocorre entre dois corpos que não se tocam, independente do meio que os separa.

c) Convecção é a troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos sólidos (ou partes de um mesmo corpo) que se tocam.

d) A condução é a troca de calor que ocorre quando há diferença de temperatura entre dois corpos sólidos (ou partes de um mesmo corpo) que se tocam.

e) Convecção é a troca de calor que ocorre entre dois corpos que não se tocam, desde que o meio que os separa permita a passagem das ondas emitidas por um dos corpos.

Seção 3.3

Cálculo de transmitância térmica

Diálogo aberto

Para uma melhor compreensão das trocas secas de calor que ocorrem em edifícios, na última seção você fez um desenho esquematizando esse processo, logo foi preciso atenção a todos os fenômenos estudados até então (radiação, condução e convecção).

Agora que já está ciente desses mecanismos, que tal retomar o projeto de retrofit que você está elaborando? Vamos supor que as paredes externas da edificação possuem uma composição diferente das apresentadas no “Anexo geral V – catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros” (INMETRO, 2013), então como poderíamos fazer para conhecer a transmitância térmica destas paredes para saber se estão de acordo com a NBR 15575 – partes 4 e 5? Vejamos qual a composição da parede:

- Camada externa: 0,025 m de argamassa comum pintada de verde escuro (densidade 1900 kg/m^3).
- Camada 1: 0,06 m placas de fibrocimento (densidade 1500 kg/m^3).
- Camada interna: 0,025 m de argamassa comum pintada de branco (densidade 1900 kg/m^3).

Neste caso será necessário calcular a transmitância térmica destas paredes comparando os valores encontrados com os requisitados pela NBR 15575 - partes 4 e 5. Então no caso de não atender às normas seria preciso pensar em intervenções para melhorar esse aspecto. Que tal aprender como realizar esses cálculos?

Não pode faltar

Como vimos na Seção 3.1 a transmitância térmica de um componente (U) é o inverso da Resistência térmica total do deste (R_t), assim primeiro veremos o cálculo da Resistência.

Cálculo da Resistência térmica total

Esta grandeza representa o "Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa" (ABNT NBR 15220-1, 2005, p. 2) e é medida em:

$$[(m^2.K) / W]$$

Vejamos como ela pode ser escrita matematicamente:

$$R_t = \sum R$$

Sendo:

$$R_t = \text{Resistência térmica total } [(m^2.K) / W]$$

$$R = \text{Resistência térmica de elementos e componentes } [(m^2.K) / W]$$

Assim relembando as trocas de calor no edifício sabemos que a resistência do componente dependerá da resistência de cada camada, mas também da resistência superficial interna e externa do componente. Então pode-se escrever:

$$R_t = R_{si} + \sum R_c + R_{se}$$

Sendo:

$$R_{si} = \text{Resistência térmica superficial interna } [(m^2.K) / W]$$

$$R_{se} = \text{Resistência térmica superficial externa } [(m^2.K) / W]$$

$$R_c = \text{Resistência térmica das camadas do componente } [(m^2.K) / W]$$

Por fim, sabendo que a resistência térmica de cada camada dependerá da sua espessura (e) e condutividade térmica (λ) temos:

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

Sendo:

e = espessura da camada (m)

λ = condutividade térmica do material (W/(m.K))

Então:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$



Para calcular a Resistência térmica total é necessário conhecer várias grandezas, vamos recordar quais são elas?

R_t = Resistência térmica total $[(m^2.K) / W]$

R_{si} = Resistência térmica superficial interna $[(m^2.K) / W]$

R_{se} = Resistência térmica superficial externa $[(m^2.K) / W]$

R_c = Resistência térmica da camada $[(m^2.K) / W]$

e = espessura da camada [m]

λ = condutividade térmica do material $[W / (m.K)]$

Condutividade térmica do material (W/(m.K))

Para conhecer a condutividade térmica de um material é necessário consultar a tabela B.3 (Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais) presente na página 9 da norma NBR 15220-2 (disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>). Nela estão presentes valores para uma vasta gama de materiais típicos da construção civil como argamassas, cerâmicas, concreto, isolantes térmicos, entre outros.

Resistência térmica superficial interna e externa $[(m^2.K) / W]$

Na seção anterior foi discutido como a resistência térmica superficial interna e externa sofre influência de diversos parâmetros, dentre eles a emissividade do material, convecção e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas (ABNT NBR 15220-2, 2005). Esta grandeza pode ser determinada de forma simplificada através do Quadro 3.9, na qual é dada a resistência térmica superficial interna e externa para diferentes direções do fluxo de calor.

Quadro 3.9 | Resistência térmica superficial interna e externa considerando diferentes direções do fluxo de calor

$R_{si} [(m^2.K) / W]$			$R_{se} [(m^2.K) / W]$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: adaptado da ABNT (2005, p. 7).



Exemplificando

Vejamos como calcula-se a Resistência térmica total de uma parede com a seguinte composição:

- Camada externa: 0,05 m de madeira tipo carvalho (densidade 650 kg/m³).
- Camada 1: 0,08 m de lâ de rocha.
- Camada interna: placa de gesso de 0,03 m pintada de branco (densidade 800 kg/m³).

O primeiro passo seria localizar a condutividade térmica de cada material através da tabela B.3 (Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais) encontrada na página 9 da norma NBR 15220-2 (disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>). Para os materiais citados encontra-se os valores apresentados no Quadro 3.10.

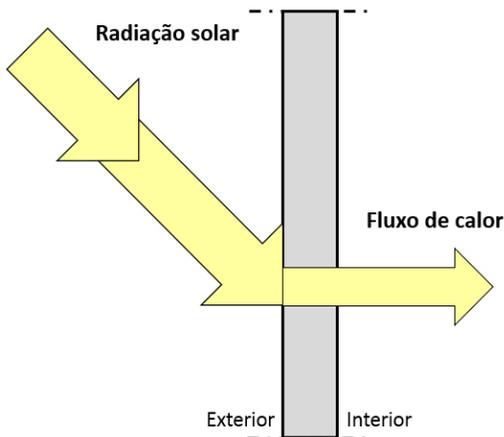
Quadro 3.10 | Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) dos materiais selecionados

Descrição do Material	Densidade (Kg / m^3)	Condutividade térmica do material ($W / (m.K)$) λ	Espessura da camada (m) e
Madeira carvalho	650	0,23	0,05
Lã de rocha	-	0,045	0,08
Placa de gesso	800	0,35	0,03

Fonte: adaptado da ABNT (2005, p. 9).

Então é necessário identificar a direção do fluxo a fim de encontrar a Resistência térmica superficial interna e externa do componente. No caso como se vê na Figura 3.6, em uma parede vertical o fluxo de calor é horizontal.

Figura 3.7 | Corte de uma parede esquematizando o fluxo de calor em elementos verticais externos



Sendo assim, no Quadro 3.9 verificam-se os valores abaixo:

$$R_{si} = 0,13 \text{ e } R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\text{.K) / W]}$$

Tendo levantado estes dados aplica-se a fórmula, como visto na sequência:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,08}{0,045} + \frac{0,03}{0,35} + 0,04$$

$$R_t = 0,13 + 0,217 + 1,778 + 0,086 + 0,04$$

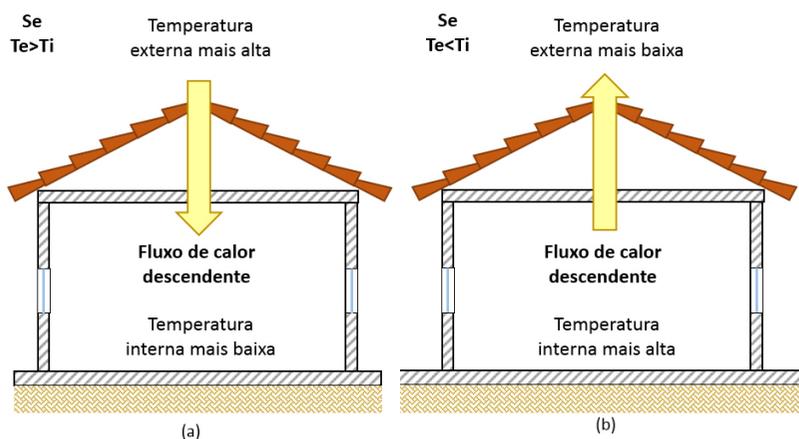
$$R_t = 2,251 \text{ [(m}^2\text{.K) / W]}$$

Ao considerar a direção do fluxo de calor das superfícies verticais verificamos apenas a posição sem importar o sentido, isso significa que precisamos saber apenas que o fluxo é horizontal não importando se o fluxo de calor é de dentro para fora ou o inverso. Por outro lado,

quando determinamos a direção do fluxo de calor em superfícies horizontais, além de identificar a direção é importante ter atenção ao sentido, ou seja, se o fluxo é ascendente ou descendente.

Como mostra a Figura 3.8, para superfícies horizontais quando a temperatura externa é maior que a interna, o fluxo de calor é descendente (como em um dia típico de verão) e quando o contrário ocorre o fluxo é ascendente (situação comum durante a noite).

Figura 3.8 | Representação esquemática do fluxo de calor em elementos horizontais externos considerando a variação de temperatura interna e externa.



Fonte: elaborada pelo autor.



Exemplificando

Que tal calcular a Resistência térmica total de uma cobertura considerando a temperatura externa de 18 °C e a interna de 25 °C e com a seguinte composição:

- Camada externa: 0,10 m de argila expandida
- Camada 1: 0,12 m de concreto normal com agregado de pedra (densidade 2.200 kg/m³)
- Camada interna: argamassa de gesso de 0,03 m pintada de branco (densidade 1.200 kg/m³)

O primeiro passo seria localizar a condutividade térmica de cada material através da tabela B.3 (Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais) encontrada na página 9

da norma NBR 15220-2 (disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>). Para os materiais citados encontra-se os valores apresentados na Quadro 3.11.

Quadro 3.11 | Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) dos materiais selecionados

Descrição do Material	Densidade (Kg / m^3)	Condutividade térmica do material ($W / (m.K)$) λ	Espessura da camada (m) e
Argila expandida	-	0,16	0,10
Concreto normal	2.200	1,75	0,12
Argamassa de gesso	1.200	0,70	0,03

Fonte: adaptado de ABNT (2005, p. 9).

Então é necessário identificar a direção do fluxo, como a temperatura externa é menor que a interna o fluxo é ascendente. Assim na Tabela 3.8 verificam-se os valores abaixo:

$$R_{si} = 0,10 \text{ e } R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2 \cdot K) / W]$$

Por fim, aplica-se a fórmula, como visto abaixo:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_t = 0,10 + \frac{0,10}{0,16} + \frac{0,12}{1,75} + \frac{0,03}{0,70} + 0,04$$

$$R_t = 0,10 + 0,625 + 0,069 + 0,043 + 0,04$$

$$R_t = 0.876 \text{ [(m}^2 \cdot K) / W]$$



Pesquise mais

Em alguns casos um elemento não é composto apenas de materiais opacos, mas também de câmaras de ar não ventiladas. Neste caso, a resistência dessa camada dependerá de muitos fatores como a convecção, assim esta é determinada por uma tabela B.1 (Resistência

térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura) disponível na página 8 da norma NBR 15220-2 (localizada na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>).

Para utilizar a tabela será necessário conhecer o sentido do fluxo de calor, a espessura da camada e também a emissividade efetiva das superfícies que limitam a camada. Vamos pesquisar esta tabela?

O cálculo da emissividade efetiva é dado pela seguinte fórmula:

$$\varepsilon_{ef} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Sendo:

ε_{ef} = emissividade efetiva

ε_1 = emissividade do material 1

ε_2 = emissividade do material 2

Cálculo da transmitância térmica (W/(m.K))

Por fim, tendo calculado a resistência térmica total basta calcular a transmitância térmica através da fórmula abaixo:

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

Sendo:

U = Transmitância térmica [W / (m².K)]



Exemplificando

Considerando a parede calculada anteriormente, vamos ver como se encontra a sua transmitância térmica.

Lembrando que encontramos a resistência térmica total de <<Eqn069.eps>> (m².K)/W), calcula-se:

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

$$U = \frac{1}{2,251}$$

Agora vejamos quanto seria a transmitância térmica da cobertura do exemplo da seção. Sendo a resistência térmica total $R_t = 0,876$ [(m².K) / W], temos:

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

$$U = \frac{1}{0,876}$$

$$U = 1,141 \text{ [W / (m}^2\text{.K)]}$$

Viu como é simples a aplicação!



Refleta

Como a transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total (R_t), para se ter menores valores de U é necessário que (R_t) seja o maior possível. Assim como o R_t de uma camada é:

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

Quando se deseja obter U baixo deve se escolher materiais com λ (condutibilidade térmica) o mais baixo possível, ou seja, materiais isolantes térmicos. Então quais materiais poderiam ser usados para reduzir a transmitância térmica de um elemento?

De posse destes conhecimentos você conclui a unidade e já conhece as normas NBR 15220 (partes 1 e 2) e NBR15575 (partes 4 e 5), além de compreender como se dão as trocas secas de calor. Ainda é capaz de calcular a transmitância térmica de qualquer componente opaco, seja ele vertical ou horizontal. Sendo apto inclusive de propor e dimensionar melhorias para componentes existentes, como a aplicação de matérias isolantes por exemplo. Então que tal incorporar estas novas habilidades em seu processo de projeto?

Sem medo de errar

Retomando o projeto de retrofit que você está elaborando, consideramos que as paredes externas da edificação possuem uma transmitância térmica desconhecida e assim será necessário calculá-la para saber se estão de acordo com a NBR 15575. Vamos ver um exemplo?

O primeiro passo seria localizar a condutividade térmica de cada material através da tabela B.3 (Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais) encontrada na página 9 da norma NBR 15220-2 (disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>). Para os materiais da situação temos os valores apresentados na Quadro 3.12.

Quadro 3.12 | Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) dos materiais selecionados

Descrição do Material	Densidade (Kg / m^3)	Condutividade térmica do material ($W/(m.K)$) λ	Espessura da camada (m) e
Argamassa comum	1900	1,15	0,025
Placas de fibrocimento	1500	0,65	0,06
Argamassa comum	1900	1,15	0,025

Fonte: adaptado de ABNT (2005, p. 9).

Na sequência encontra-se a Resistência térmica superficial interna e externa do componente. Nesta situação como temos uma parede (superfície vertical) o fluxo de calor é horizontal, então na Tabela 3.8 verificam-se os valores abaixo:

$$R_{si} = 0,13 \text{ e } R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2 \cdot K) / W]$$

Tendo estes valores é possível calcular a Resistência térmica total como segue:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,06}{0,65} + \frac{0,025}{1,15} + 0,04$$

$$R_t = 0,13 + 0,022 + 0,092 + 0,022 + 0,04$$

$$R_t = 0,306 \text{ [(m}^2\text{.K) / W]}$$

Depois calcula-se a transmitância térmica:

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

$$U = \frac{1}{3,270}$$

$$U = 3,270 \text{ [W / (m}^2\text{.K)]}$$

Supondo que o projeto se passe em Campinas (Zona 3), verifica-se a absorptância (α) das paredes externas consultando a NBR 15220-2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>) e encontra-se na Tabela 3.2 (da Seção 3.1) a transmitância mínima das paredes externas. Nesta situação a absorptância (α) é de 0,70 ($\alpha > 0,6$) e portanto $U \leq 2,5$.

Assim podemos concluir se esta composição de parede não é adequada ao clima de Campinas e será preciso propor modificações na composição das paredes externas. Um caminho possível para isso seria a adição de uma placa de fibrocimento (material isolante) entre duas placas da placa de fibrocimento de 0,03 m, vejamos como fica a condutividade térmica dos materiais na Quadro 3.13:

Quadro 3.13 | Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) dos materiais selecionados

Descrição do Material	Densidade (Kg / m^3)	Condutividade térmica do material (W/(m.K)) λ	Espessura da camada (m) e
Argamassa comum	1900	1,15	0,025
Placas de fibrocimento	1500	0,65	0,08
Espuma rígida de poliuretano	35	0,03	0,08

Placas de fibrocimento	1500	0,65	0,03
Argamassa comum	1900	1,15	0,025

Fonte: adaptado de ABNT (2005, p. 9).

A Resistência térmica superficial interna e externa do componente não muda, então temos:

$$R_{si} = 0,13 \text{ e } R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2 \cdot \text{K) / W]}$$

Tendo reunido estes dados é momento de aplicarmos a fórmula a seguir para descobrir a nova Resistência térmica total:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_t = 0,13 + \frac{0,025}{1,15} + \frac{0,03}{0,65} + \frac{0,08}{0,03} + \frac{0,03}{0,65} + \frac{0,025}{1,15} + 0,04$$

$$R_t = 0,13 + 0,022 + 0,046 + 2,667 + 0,046 + 0,022 + 0,04$$

$$R_t = 2,972 \text{ [(m}^2 \cdot \text{K) / W]}$$

Depois calcula-se a transmitância térmica:

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

$$U = \frac{1}{2,972}$$

$$U = 0,336 \text{ [W / (m}^2 \cdot \text{K)]}$$

Como visto com as modificações, a parede passa a atender aos critérios mínimos determinados pela NBR 15575 para adequação ao clima de Campinas.

Assim é possível aplicar o método para qualquer zona bioclimática analisando a composição das paredes externas e cobertura do edifício onde você está realizando o projeto de retrofit e verificar o atendimento à norma 15575 (partes 4 e 5) quanto ao conforto térmico, além de propor melhorias quando necessário.

Avançando na prática

Cálculo da transmitância térmica de uma cobertura com câmara de ar não ventilada

Descrição da situação-problema

Ao realizar um projeto, e após alguns estudos, você chega em uma solução de cobertura com matérias inusitados e está preocupado se a transmitância térmica do elemento atenderá às exigências da NBR 15575 e decide fazer os cálculos para descobrir. A cobertura pensada tem a seguinte composição:

- Camada externa: 0,10 m de palha (capim Santa Fé).
- Camada 1: 0,80 m câmara de ar não ventilada.
- Camada interna: 0,12 m de concreto normal com agregados de pedra (densidade 2300 kg/m^3).

Para conhecer e calcular a transmitância térmica do telhado é necessário primeiro calcular a Resistência térmica total, para isso vamos considerar a temperatura externa de $32 \text{ }^\circ\text{C}$ e a interna de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e a emissividade do telhado de palha como 0,75 conforme Santos (2005). Vamos lá?

Resolução da situação-problema

Vejamos um exemplo de solução para a situação colocada:

O primeiro passo seria localizar a condutividade térmica de cada material através da tabela B.3 (Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais) encontrada na página 9 da norma NBR 15220-2 (disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>). Para os materiais citados encontra-se os valores apresentados no Quadro 3.14, lembrando que a resistência da camada de ar será encontrada separadamente.

Quadro 3.14 | Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) dos materiais selecionados

Descrição do Material	Densidade (Kg / m^3)	Condutividade térmica do material (W/(m.K)) λ	Espessura da camada (m) e
Palha (capim Santa Fé)		0,12	0,10
Concreto normal	2300	1,75	0,12

Fonte: adaptado de ABNT (2005, p. 9).

Agora encontramos a emissividade do concreto na tabela B.2 (Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)) disponível na página 8 da norma NBR 15220-2, conforme vemos na no Quadro 3.15.

Quadro 3.15 | Emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns dos materiais selecionados

Descrição do Material	Emissividade ϵ
Palha (capim Santa Fé)	0,75
Concreto normal	0,90

Fonte: adaptado de ABNT (2005) e Santos (2005).

Então calcula-se a emissividade efetiva, vejamos:

$$\epsilon_{ef} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

$$\epsilon_{ef} = \frac{1}{\frac{1}{0,95} + \frac{1}{0,75} - 1}$$

$$\epsilon_{ef} = \frac{1}{1,05 + 1,33 - 1}$$

$$\epsilon_{ef} = 0.72$$

Depois verificamos a Resistência térmica da câmara de ar não ventilada na tabela B.1 (Resistência térmica de câmaras de ar não

ventiladas, com largura muito maior que a espessura) disponível na página 8 da norma NBR 15220-2. Como temos superfície de alta emissividade (próxima de 0,8), espessura acima de 0,05 m e fluxo descendente (temperatura externa maior que a interna), a Resistência térmica da câmara de ar (R_{ar}) é de 0,14 [(m².K) / W].

Dando continuidade, como o fluxo de calor é descendente verifica-se na Tabela 3.8 os valores abaixo:

$$R_{si} = 0,17 \text{ e } R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\text{.K) / W]}$$

Por fim, aplica-se a fórmula, como visto abaixo:

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

$$R_t = 0,17 + 0,14 + \frac{0,10}{0,12} + \frac{0,12}{1,75} + 0,04$$

$$R_t = 0,17 + 0,14 + 0,833 + 0,069 + 0,04$$

$$R_t = 1.252 \text{ [(m}^2\text{.K) / W]}$$

Depois calcula-se a transmitância térmica:

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

$$U = \frac{1}{1.252}$$

$$U = 0.799 \text{ [W / (m}^2\text{.K)]}$$

Supondo que o projeto se passe em Campinas (Zona 3), verifica-se a absorptância (α) da superfície externa consultando a NBR 15220-2 (Disponível na sua Biblioteca Virtual, no acervo 'Gedweb' <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>) e encontra-se na Tabela 3.4 (da Seção 3.1) a transmitância mínima de coberturas. Nesta situação a absorptância (α) é de 0,30 ($\alpha \leq 0,6$) e, portanto, $U \leq 2,3$ (mínimo). Assim podemos concluir se esta composição de parede é adequada ao clima de Campinas.

Faça valer a pena

1. Segundo a NBR 15220 a Resistência térmica total (R_t) pode ser definida como o “Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa”. Com relação às resistências superficiais interna e externa avalie as afirmações abaixo:

I. A R_{si} ou Resistência térmica superficial interna varia dependendo da emissividade do material, convecção e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas.

II. As Resistências térmicas superficiais (interna e externa) podem ser determinadas dividindo a emissividade média pela condutividade de cada material, ou seja, $R = \frac{e}{\lambda}$.

III. Ao considerar a direção do fluxo de calor em superfícies verticais verificamos apenas a posição sem importar o sentido.

IV. Quando determinamos a direção do fluxo de calor em superfícies horizontais, além de identificar a direção é importante ter atenção ao sentido, ou seja, se o fluxo é ascendente ou descendente.

Com base no texto anterior, qual alternativa apresenta apenas alternativas verdadeiras?

- a) I e IV, apenas.
- b) I, II, e IV, apenas.
- c) II, III, e IV, apenas.
- d) III, e IV, apenas.
- e) I, III, e IV, apenas.

2. Para conhecer a transmitância térmica é necessário antes calcular a resistência térmica total do elemento construtivo. A tabela abaixo apresenta as grandezas envolvidas neste cálculo, então relacione a variável com a sua descrição:

I. R_{si}	A. Espessura da camada (m)
II. e	B. Emissividade efetiva (W/(m.K))

III. ϵ_{ef}	C. Condutividade térmica do material
IV. λ	D. Resistência térmica superficial interna [(m ² .K) / W]

Qual das alternativas abaixo apresenta a relação precisa entre as variáveis e as respectivas descrições?

- a) I- A; II- D; III- C; IV- B.
- b) I- D; II- A; III- B; IV- C.
- c) I- D; II- B; III- A; IV- C.
- d) I- C; II- A; III- B; IV- D.
- e) I- C; II- D; III- B; IV- A.

3. Considere uma parede opaca externa com camada externa de 0,025 argamassa comum ($\lambda = 1,15$ (W/(m.K)), seguida por camada de 0,15 m de tijolo de barro ($\lambda = 0,70$ (W/(m.K)), e uma camada interna de 0,025 argamassa de gesso ($\lambda = 0,70$ (W/(m.K)) e as informações do Quadro 3.16.

Quadro 3.16 | Resistência térmica superficial interna e externa considerando diferentes direções do fluxo de calor

Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descen- dente	Horizontal	Ascendente	Descen- dente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: adaptada da ABNT (2005, p. 7).

Tendo em conta as informações disponibilizadas acima, qual a resistência térmica total e transmitância da parede?

- a) $R_t = 0,442$ e $U = 1,264$
- b) $R_t = 2,264$ e $U = 0,442$
- c) $R_t = 0,442$ e $U = 2,264$
- d) $R_t = 3,531$ e $U = 0,283$
- e) $R_t = 0,283$ e $U = 3,531$

Referências

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. 2005, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais- Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais Prefácio. 2013a, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013. p. 60

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. 2013b, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013. p. 51. 9788507007036.

_____. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais- Desempenho - Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. 2013c, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT, 2013. p. 63

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

GONÇALVES, Luís Filipe Milheiro; MATIAS, Luís Manuel Cordeiro; RODRIGUES, Maria Paulina Santos Forte de Faria. **Avaliação do desempenho térmico de tintas reflectantes em fachadas por análise termográfica**. 2014. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade nova de Lisboa, Lisboa, 2014

INMETRO. **Anexo geral V – catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Inmetro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf>. Acesso em: 12 de nov. 2017.

_____. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos**. Inmetro. Rio de Janeiro, Março 2003.

PXHERE. **A foto de alta resolução livre de água**. SL, 2017. Disponível em: <<https://pxhere.com/pt/photo/1375478>>. Acesso em: 26 nov. 2017.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima**: acondicionamento Térmico Natural. D. C. Luzzatto, Ed. Porto Alegre, 1986.

SANTOS, F. L. dos. **Modelo matemático para a combustão de partícula isolada de biomassa**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Brasília, UNB, 2005. 85 p.

Estudo da insolação

Convite ao estudo

Já observou como a posição do Sol e a quantidade de horas de Sol muda ao longo do ano? Também se nota esse fenômeno quando viajamos para locais de diferentes latitudes. Então, pensando nisso, como podemos compreender e controlar a insolação que entra nas aberturas em diferentes locais do globo e momentos do ano?

Na unidade anterior, você pôde analisar o atendimento aos requisitos do desempenho térmico de edificações segundo as normas brasileiras, além de propor modificações para a sua adequação caso se aplique. Agora, o projeto de retrofit do edifício que seu escritório está realizando já está quase completo, você já escolheu as melhores estratégias passivas de desempenho térmico e pensou nas aplicações em seu projeto. Além disso, analisou o atendimento aos requisitos do desempenho térmico segundo as normas brasileiras e propôs modificações quando necessário. Por fim, vamos realizar o diagnóstico de insolação e sombra do edifício e propor intervenções arquitetônicas para promover o sombreamento quando necessário. Então, como saber o percurso do Sol ao longo do ano e compreender a necessidade de sombreamento do edifício? De que forma podemos ter certeza de que a intervenção proposta vai ser eficiente?

Nesse sentido, será necessário adquirir novos conhecimentos sobre a insolação. Assim, na Seção 4.1, vamos relembrar como se dão os movimentos de translação e rotação da Terra e conhecer os digramas solares. Para isso, precisaremos compreender os conceitos de movimento aparente do Sol, altura solar e azimute.

Dando continuidade ao estudo dos diagramas solares, na Seção 4.2, veremos como se desenha o sombreamento do

entorno em certa latitude e em determinado momento do ano usando o diagrama solar. Também vamos compreender como se utiliza o transferidor de ângulos para se determinar as máscaras de sombra em determinada abertura.

Por fim, na Seção 4.3, concluiremos nosso estudo com o projeto de proteções solares. Para tanto, vamos precisar determinar os momentos do ano nos quais desejamos que ocorra o sombreamento das aberturas ou a penetração do Sol no ambiente.

Dessa maneira, ao finalizar a unidade, você terá completado o estudo do conforto térmico, tendo as bases para compreender a arquitetura bioclimática e para projetar um edifício com bom desempenho térmico. Vamos lá?

Seção 4.1

Orientação e diagrama solar

Diálogo aberto

O projeto de renovação da loja de decoração está chegando ao fim. Na unidade anterior, você identificou os requisitos mínimos de desempenho térmico para o envelope do edifício segundo a NBR 15575; calculou a transmitância térmica das paredes e coberturas, verificando o atendimento à norma; por fim, propôs modificações quando necessário. Para isso, foi preciso conhecer novos conceitos sobre as transferências secas de calor e também variáveis, como: a transmitância, a resistência e a capacidade térmicas, por exemplo.

Agora, é o momento de refletirmos sobre a insolação que atinge a edificação ao longo do ano. O primeiro passo para realizar um diagnóstico de insolação de um edifício é compreender o percurso do Sol, conhecendo alguns ângulos importantes da incidência solar em certos momentos do ano. Também será necessário identificar as horas de Sol durante o solstício de verão e inverno que atingem as fachadas do edifício onde seu escritório está realizando o retrofit.

Para isso, precisaremos utilizar o diagrama solar para conhecer a altura solar e o azimute nos períodos citados, posicionando o diagrama solar de acordo com a orientação da fachada em questão. Que tal saber como se faz?

Não pode faltar

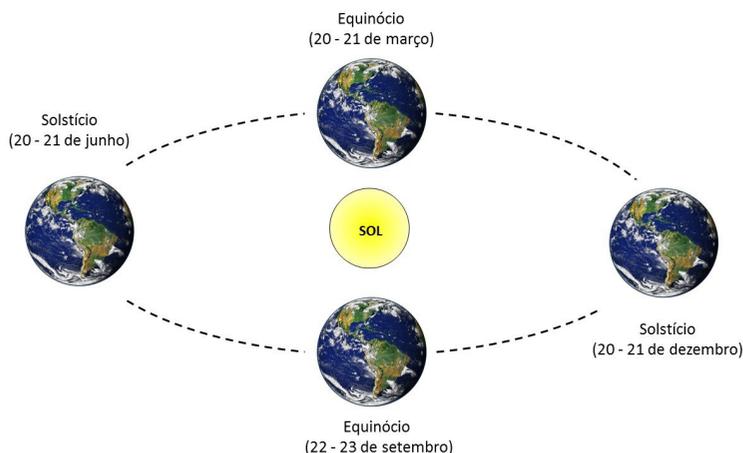
Para compreendermos como ocorre a insolação em vários pontos do planeta ao longo do ano é necessário primeiro conhecer os movimentos que a Terra realiza em torno do Sol (translação) e de si mesma (rotação).

Translação

Ao longo do ano, a Terra completa uma volta em torno do Sol, percurso conhecido como movimento de translação da Terra. Como esse movimento ocorre em um formato elíptico em determinados

períodos do ano, o Planeta fica mais próximo ou distante do Sol, configurando dessa maneira o início das estações do ano (ver Figura 4.1): outono (equinócio), inverno (solstício de inverno), primavera (equinócio) e verão (solstício de verão).

Figura 4.1 | Esquema do movimento de rotação da terra



Fonte: adaptada de <<https://www.pexels.com/photo/sky-earth-galaxy-universe-2422/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.



Assimile

Como vimos, as estações do ano estão relacionadas com a posição da Terra em relação ao Sol. Por isso, é importante compreender que a data do início de cada uma delas varia de acordo com o hemisfério. Vejamos quando são os solstícios e equinócios no hemisfério sul e suas características:

- **Equinócio de outono (20-21 de março):** dias e noites iguais.
- **Solstício de inverno (20-21 de junho):** noite mais longa do ano.
- **Equinócio de primavera (22-23 de setembro):** dias e noites iguais.
- **Solstício de verão (20-21 de dezembro):** dia mais longo do ano.

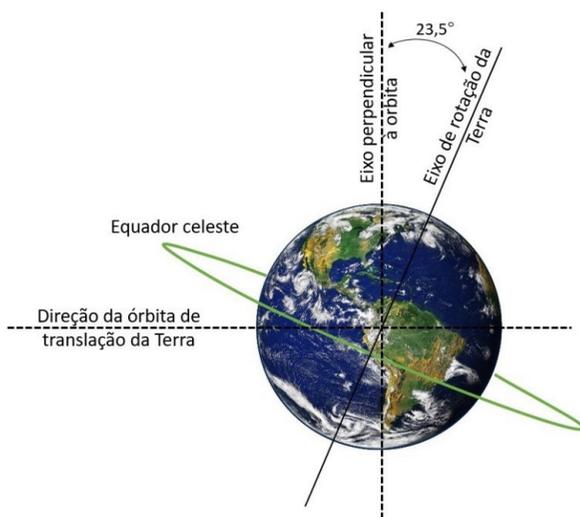
Rotação

Para compreender como se dão as estações, também precisamos conhecer o movimento de rotação da Terra, giro em torno de si mesma durante o período de um dia. Ao realizar esse movimento

sempre haverá uma área recebendo a radiação solar e outra na região de sombra, configurando os períodos que conhecemos como dia e noite.

Além disso, como vemos na Figura 4.2, a rotação segue a trajetória do equador celeste e o eixo de rotação da Terra tem uma inclinação de $23,5^\circ$ com relação à órbita de translação. Devido a essa angulação e à rota elíptica da translação da Terra, ocorrem em julho e dezembro os solstícios (dias ou noites mais longos do ano) e, após três meses, a posição da Terra é tal que esse ângulo não influencia na insolação, gerando dias e noites iguais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 4.2 | Esquema do movimento de rotação da terra



Fonte: adaptada de <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AxialTiltObliquity-pt.png>>; <<https://www.pexels.com/photo/sky-earth-galaxy-universe-2422/>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

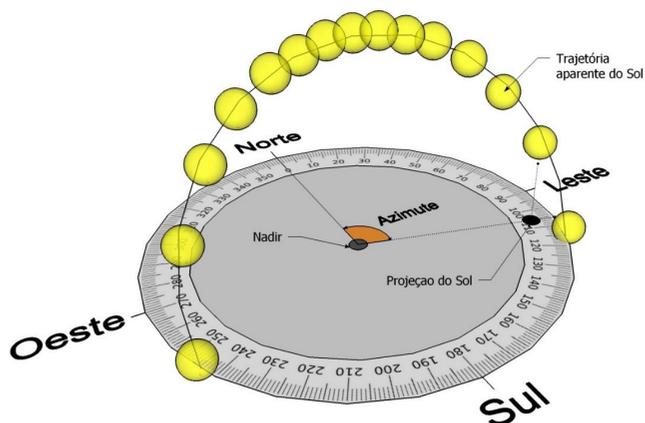
Trajatória aparente do Sol

Apesar de sabermos que na realidade é a Terra que se move em torno do Sol, para possibilitar o estudo da insolação, consideramos o movimento aparente do Sol (Figura 4.3) do ponto de vista de um observador fixo na Terra (ponto chamado de nadir), ou seja, imaginamos que a Terra está parada e o Sol se movendo.

Além disso, para o estudo da insolação é essencial conhecer os ângulos azimute e altura solar.

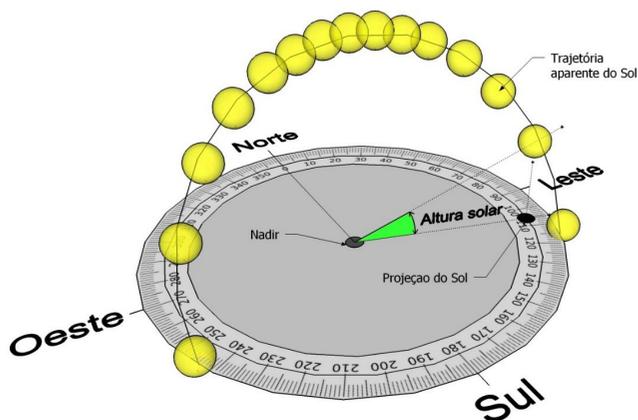
Como mostra a Figura 4.3, o azimute (destacado em laranja) é o ângulo entre o norte e a projeção do Sol no plano horizontal em determinado momento. Já a altura solar é vista na Figura 4.4 em verde, sendo o ângulo entre o plano horizontal e o Sol.

Figura 4.3 | Exemplo de trajetória aparente do Sol evidenciando o ângulo azimute, bem como os pontos cardeais e nadir



Fonte: adaptada de <<https://pixabay.com/pt/c%C3%ADrculo-matem%C3%A1tica-educa%C3%A7%C3%A3o-360-41073/>>. Acesso em: 3 abr. 2014.

Figura 4.4 | Exemplo de trajetória aparente do Sol evidenciando o ângulo altura solar, bem como os pontos cardeais e nadir

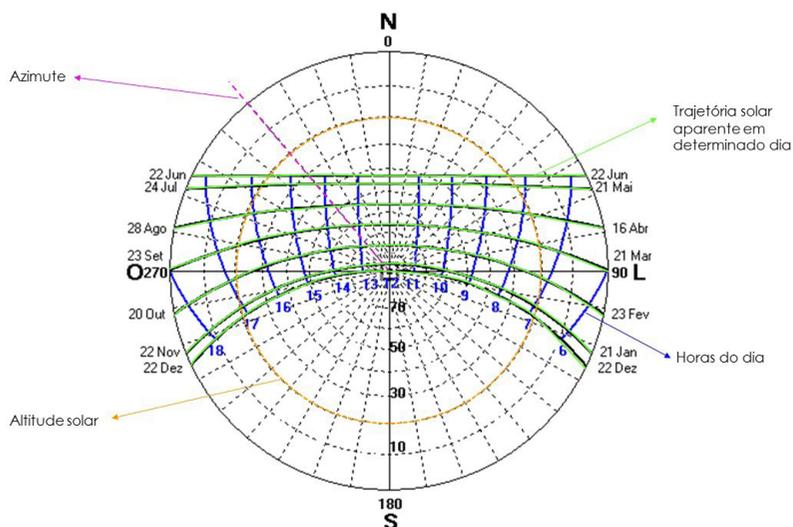


Fonte: adaptada de <<https://pixabay.com/pt/c%C3%ADrculo-matem%C3%A1tica-educa%C3%A7%C3%A3o-360-41073/>>. Acesso em: 3 abr. 2014.

Diagramas solares

Os diagramas solares (ou cartas solares) são cartas auxiliares traçadas a partir da projeção da trajetória aparente do Sol em vários dias do ano. Como mostra o exemplo da Figura 4.5, com esse instrumento é possível encontrar o azimute (linhas retas que partem do ponto nadir; veja um exemplo em destaque na cor rosa) e a altura solar (círculos tracejados; veja um exemplo em destaque na cor laranja) para vários momentos do ano. Observe que as linhas curvas na horizontal (destacadas em verde) representam a trajetória solar em vários dias do ano, e as horas do dia são representadas pelas linhas curvas verticais (destacadas em azul marinho).

Figura 4.5 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude -23,61), evidenciando os ângulos azimute e altura solar, bem como a trajetória solar e horas do dia



Fonte: elaborada pela autora.



Pesquise mais

Para realizar um bom estudo da insolação é importante obter um diagrama solar preciso. Um bom recurso para gerar esses diagramas para diversas latitudes é o programa Analysis SOL-AR, que é gratuito e pode ser baixado em: <<https://bit.ly/3mQWkA8>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

O uso do programa é simples e já possui inclusas algumas das principais cidades brasileiras, como: Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis,

Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória.

Uma boa ideia é a leitura do tutorial que pode ser encontrado em: <<https://bit.ly/3mQWmlg>>. Acesso em: 3 abr. 2018. Que tal experimentar?



Exemplificando

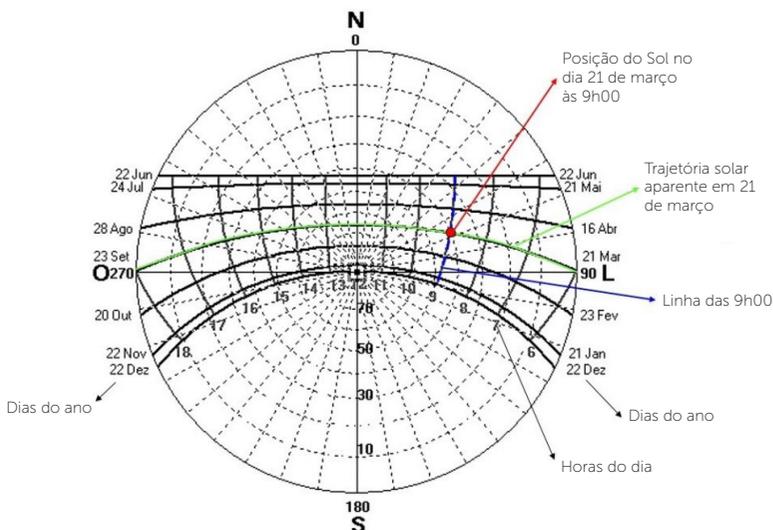
Vejam os um exemplo de como encontrar o azimute e a altura solar para o dia 21 de março, às 9h00.

1- Obtém-se o diagrama solar para a cidade em questão utilizando o programa SOL-AR.

2- O próximo passo é encontrar a linha da trajetória solar na data de interesse (para dia 21 de março, seria a linha destacada em verde na Figura 4.6) e a linha da hora do dia que vamos analisar (para às 9h00 seria a linha pintada de azul marinho).

3- Então, no cruzamento dessas linhas (verde e azul), localiza-se a posição do Sol no diagrama solar para o momento desejado, no caso o dia 21 de março, às 9h00 (ponto vermelho na Figura 4.6).

Figura 4.6 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude -23,61), evidenciando a posição do Sol no dia 21 de março às 9h00

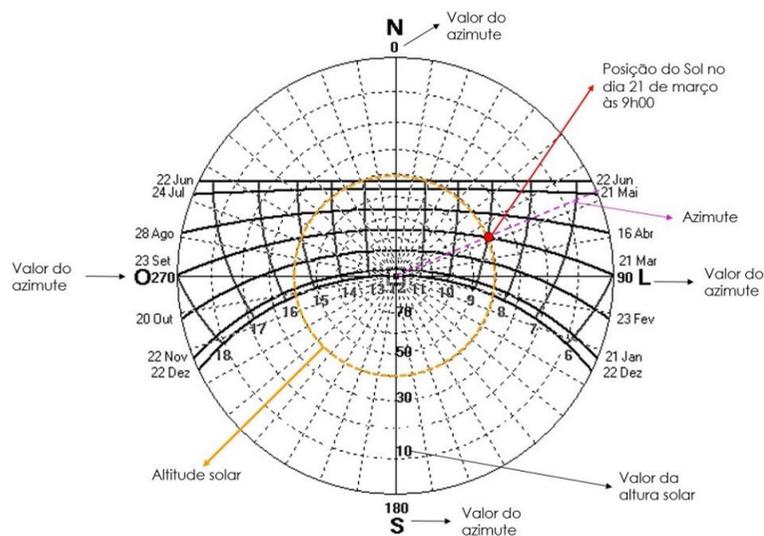


Fonte: elaborada pela autora.

4- Na sequência, deve-se traçar uma linha auxiliar (linha rosa na Figura 4.7) partindo do ponto central do diagrama e passando pelo ponto que representa a posição do Sol (ponto vermelho), de maneira que encontramos um azimute de 68° .

5- Depois, com o auxílio de um compasso deve-se traçar um círculo auxiliar (tracejado em laranja na Figura 4.7) com centro igual ao do diagrama e passando pelo ponto que representa a posição do Sol (ponto vermelho), assim identificamos que a altura solar para o momento analisado é de 40° .

Figura 4.7 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude $-23,61$), evidenciando a posição do Sol no dia 21 de março às 9h00



Fonte: elaborada pela autora.

Além de encontrar os ângulos azimute e altura solar, o diagrama solar também serve para identificar as horas de Sol que uma fachada recebe. Nesse caso, é necessário conhecer a orientação dessa fachada e posicioná-la no diagrama solar. Depois basta analisar os momentos de insolação.

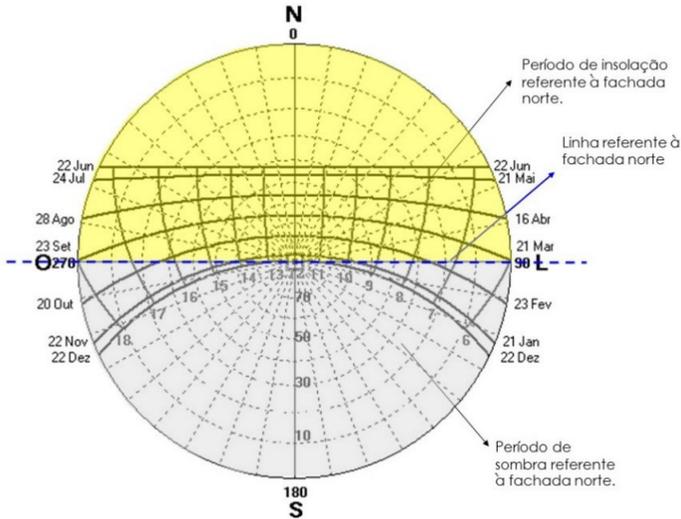
Exemplificando

Vamos ver como se faz para identificar quantas horas de Sol uma fachada norte recebe em São Paulo no dia 23 de fevereiro?

1- Tendo o diagrama solar em mãos, traça-se uma linha auxiliar (linha azul marinho na Figura 4.8) na orientação da fachada de interesse passando pelo ponto nadir (centro do diagrama).

2- Então se sombreia a área referente à ocupação da edificação. No caso, como temos uma fachada norte, a sombra fica como na Figura 4.8.

Figura 4.8 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude -23,61), evidenciando o período de insolação e sombra para uma fachada norte

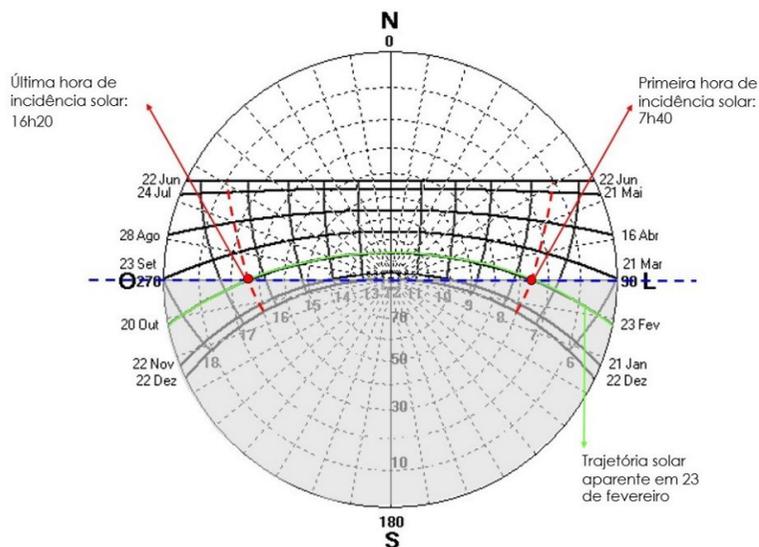


Fonte: elaborada pela autora.

6- O próximo passo é encontrar a linha da trajetória solar na data de interesse (para o dia 23 de fevereiro, seria a linha destacada em verde na Figura 4.9).

7- Os pontos onde essa linha cruza com a linha referente à posição da fachada norte (linha azul da Figura 4.9) serão a primeira e última hora de Sol recebido. Assim, o primeiro momento em que o sol incide na fachada seria às 7h40 e o último às 16h20.

Figura 4.9 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude -23,61), evidenciando as horas de insolação em 23 de fevereiro



8- Tendo esses dados, conclui-se que uma fachada na cidade de São Paulo no dia 23 de fevereiro recebe 8 horas e 40 minutos de Sol.



Refleta

O diagrama solar é um instrumento valioso para compreender a insolação em qualquer ponto do planeta bastando gerar o diagrama para a latitude desejada. Observe que os solstícios e equinócios são uma das datas da trajetória solar representada no diagrama solar. Então, que tal analisar quantas horas de Sol cada uma dessas datas apresenta? Outra ideia interessante é comparar o número de horas de Sol no solstício de inverno em Fortaleza, CE, onde a latitude é de -03,78, com a cidade de Berlim (capital da Alemanha), onde a latitude é de 52,31. Lembre-se de que o solstício de inverno no hemisfério sul ocorre de 20 a 21 de junho; já no norte, de 20 a 21 de dezembro.

De posse desses novos conhecimentos, você já domina os movimentos de translação e rotação da Terra e, inclusive, compreende sua influência na insolação em diversos dias do ano e nas diferentes latitudes. Além disso, conhece algumas funções do diagrama solar (ou carta solar) e é capaz de encontrar o azimute e

a altura solar em vários momentos do ano e do dia para diversas latitudes do planeta. Por fim, também já sabe identificar o número de horas de Sol que incide em uma fachada.

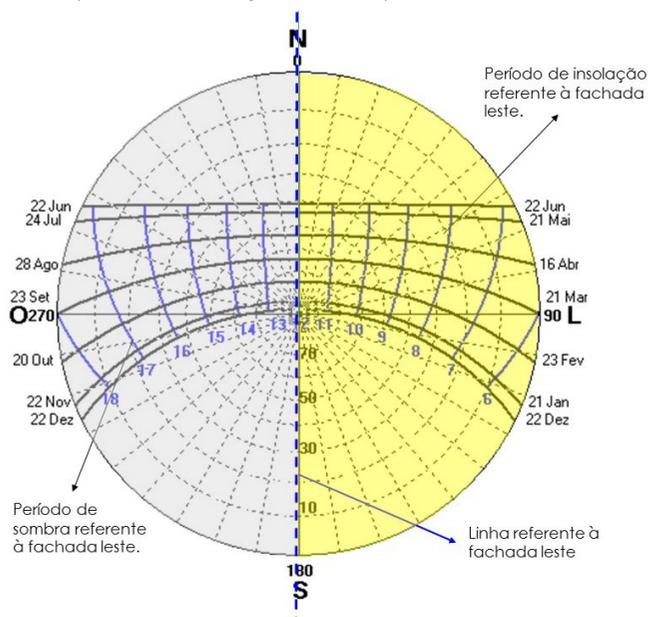
Sem medo de errar

Agora, o projeto de renovação da loja de decoração está chegando ao fim e vamos analisar a insolação que atinge a edificação ao longo do ano, identificando as horas de Sol durante o solstício de verão e inverno que atingem as fachadas do edifício. Vejamos um exemplo para uma fachada leste na cidade de Curitiba, PR (latitude -25,51). Você pode replicar o processo apresentado para a cidade em que está desenvolvendo a loja.

1- Primeiro precisamos obter o diagrama solar para a cidade em questão utilizado o programa SOL-AR. Então se traça uma linha auxiliar (linha tracejada em azul marinho na Figura 4.10) na orientação da fachada de interesse passando pelo ponto nadir (centro do diagrama).

2- Na sequência se sombreia a área referente à ocupação da edificação. No caso, como temos uma fachada leste, a sombra fica como na Figura 4.10.

Figura 4.10 | Diagrama solar para a cidade de Curitiba, PR (latitude -25,51), evidenciando o período de insolação e sombra para uma fachada leste

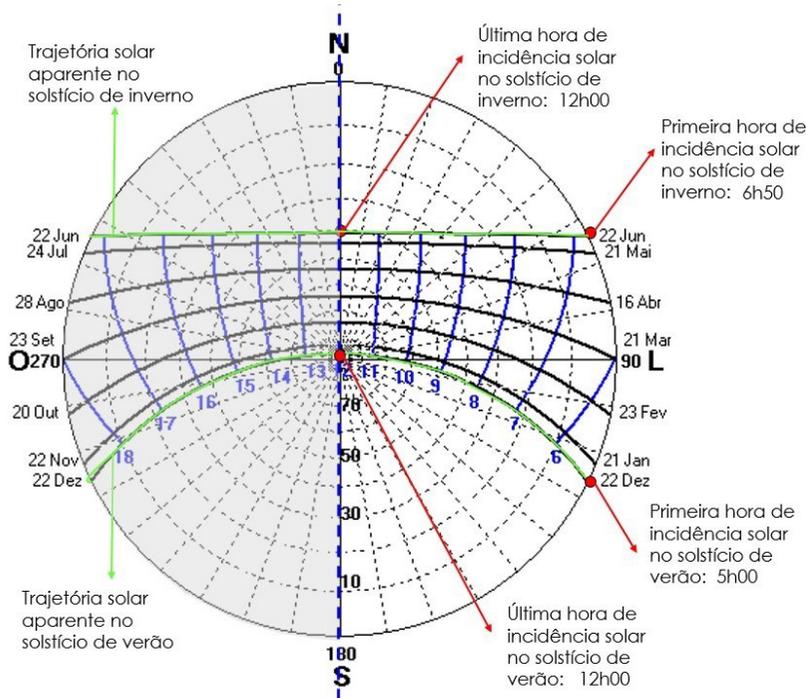


Fonte: elaborada pela autora.

3- O próximo passo é encontrar a linha da trajetória solar na data de interesse, sendo o solstício de inverno de 20 a 21 de junho e o solstício de verão de 20 a 21 de dezembro. As trajetórias aparentes do Sol nos dois solstícios estão destacadas em verde na Figura 4.11.

4- Os pontos onde essas linhas cruzam com a linha referente à posição da fachada leste (linha tracejada em azul marinho na Figura 4.11) serão as últimas horas de sol recebidas conforme indicado na figura citada. Assim, no solstício de inverno, o primeiro momento em que o Sol incide na fachada seria às 6h50 e o último, às 12h00; no solstício de verão, o primeiro raio de Sol incide na fachada às 5h00 e o último às 12h00.

Figura 4.10 | Diagrama solar para a cidade de Curitiba, PR (latitude -25,51), evidenciando o período de insolação e sombra para uma fachada leste



Fonte: elaborada pela autora.

5- Tendo esses dados, conclui-se que uma fachada na cidade de Curitiba, PR, recebe 5 horas e 10 minutos de Sol no solstício de inverno e 7 horas no solstício de verão.

Então, basta reproduzir esses passos para todas as fachadas da sua edificação, usando o diagrama solar referente à latitude onde o edifício se encontra.

Avançando na prática

Comparação da insolação em diferentes latitudes

Descrição da situação-problema

Um antigo cliente do seu escritório que possui vários imóveis, tendo uma residência em Porto Alegre, RS (latitude -30), e um casa de veraneio em São Luís, MA ($-2,58$), contata sua equipe com uma dúvida: por que a fachada norte em cada imóvel recebe insolação diferente ainda que na mesma data do ano?

Então, para esclarecer essa dúvida, você se propõe a realizar um estudo de insolação da fachada norte comparando as horas de Sol recebidas em ambos os casos no solstício de verão (20-21 de dezembro). Vamos lá?

Resolução da situação-problema

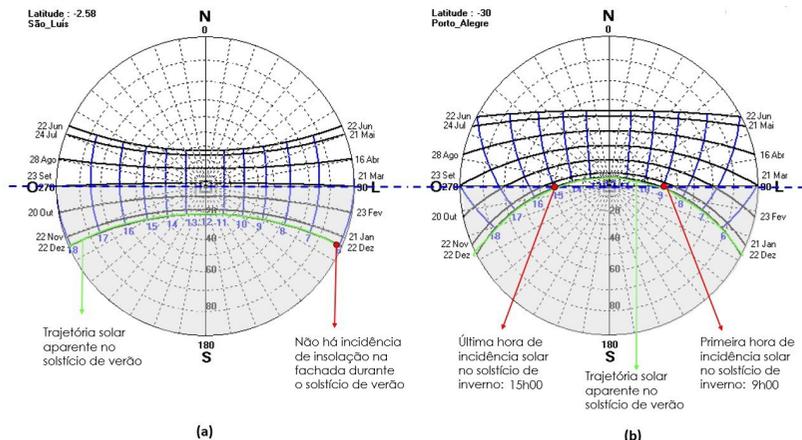
Vejamos o passo a passo para realizar a análise proposta:

1- Primeiro precisamos obter o diagrama solar para ambas as cidades em questão utilizando o programa SOL-AR. Então se traça uma linha auxiliar (linha tracejada em azul marinho na Figura 4.12) na orientação da fachada norte passando pelo ponto nadir (centro do diagrama).

2- Na sequência se sombreia a área referente à ocupação da edificação. No caso, como temos uma fachada norte, a sombra em ambos os diagramas fica como na Figura 4.12.

3- O próximo passo é encontrar a linha da trajetória solar no solstício de verão em ambos os diagramas (destaques em verde na Figura 4.12).

Figura 4.12 | Diagrama solar comparando as cidades de (a) São Luís, MA (-2,58), e (b) Porto Alegre, RS (latitude -30), evidenciando as horas de insolação no solstício de verão para cada uma



Fonte: elaborada pela autora.

Assim, pode-se verificar que para São Luís, MA (Figura 4.12-a), não há incidência solar na fachada norte no solstício de verão; já em Porto Alegre, RS (Figura 4.12-b), o primeiro momento em que o Sol incide na fachada seria às 9h00 e o último às 15h00, ou seja, 6 horas de insolação.

Faça valer a pena

1. Para compreender a variação da incidência solar em vários pontos do planeta e ao longo do ano, é preciso conhecer os movimentos que a Terra realiza em torno do Sol (translação) e de si mesma (rotação). Nesse sentido, analise as afirmativas a seguir:

- I. Como o movimento de translação da Terra se dá em um formato elíptico e o eixo de rotação da Terra possui uma inclinação de $23,5^\circ$, em determinados períodos do ano, o planeta está mais próximo ou distante do Sol, configurando dessa maneira as estações do ano.
- II. O equinócio ocorre quando os dias e as noites iguais, e o solstício tem as noites ou os dias mais longos do ano.
- III. O movimento elíptico da Terra em torno do Sol permite que o solstício de verão ocorra simultaneamente no hemisfério sul e norte.

Tendo em mente o texto-base, qual das alternativas elenca apenas afirmativas verdadeiras?

- a) I, apenas. c) II e III, apenas. e) I e II, apenas.
 b) I e III, apenas. d) II, apenas.

2. Para possibilitar o estudo da insolação, consideramos o movimento aparente do sol. Nesse sentido, é necessário compreender alguns conceitos. A seguir, destacamos esses conceitos e suas respectivas descrições fora de ordem.

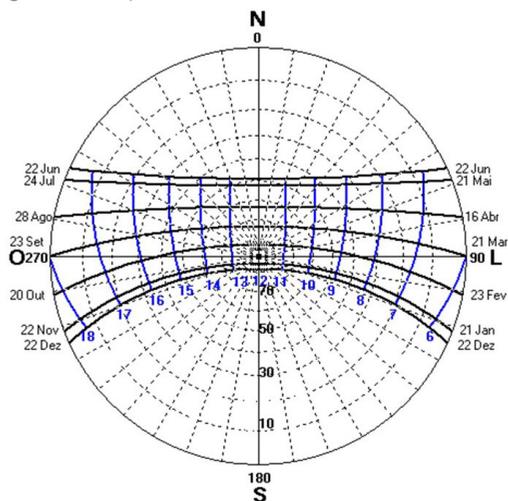
I. Nadir	A. Ângulo entre o plano horizontal e o Sol.
II. Azimute	B. Ponto de vista de um observador fixo na Terra, centro do traçado do percurso aparente do Sol.
III. Altura solar	C. Ângulo entre o norte e a projeção do Sol no plano horizontal em determinado momento.

Qual destas alternativas relaciona corretamente o conceito à sua descrição?

- a) I – A; II – C; III – B. c) I – B; II – A; III – C. e) I – C; II – A; III – B.
 b) I – B; II – C; III – A. d) I – A; II – B; III – C.

3. Os diagramas solares são cartas auxiliares traçadas a partir da projeção da trajetória aparente do Sol em vários dias do ano. Com esse instrumento, é possível realizar várias análises de insolação, dentre elas encontrar o azimute e a altura solar. A Figura 4.13 mostra um exemplo de diagrama solar de Goiânia, GO.

Figura 4.13 | Diagrama solar para Goiânia, GO (latitude -16,40)



Fonte: elaborada pela autora.

Tendo o diagrama solar disponibilizado, qual o azimute e altura solar no dia 28 de agosto às 10h00 para a cidade de Goiânia?

- a) O azimute é de 50° e altura solar de 50° .
- b) O azimute é de 30° e altura solar de 50° .
- c) O azimute é de 50° e altura solar de 30° .
- d) O azimute é de 140° e altura solar de 50° .
- e) O azimute é de 50° e altura solar de 140° .

Seção 4.2

Diagrama solar e mascaramento

Diálogo aberto

Na unidade anterior, você deu o primeiro passo para realizar um diagnóstico de insolação do edifício onde seu escritório está realizando o retrofit, ou seja, analisou o percurso do Sol por meio do diagrama solar e identificou as horas de Sol durante o solstício de verão e inverno.

Agora que já analisou a insolação que incide nas fachadas, é hora de analisar a influência do entorno no sombreamento do edifício. Para isso, será necessário avaliar a sombra de elementos como árvores e edifícios do entorno, assim como os momentos do ano em que o sombreamento ocorre.

Sendo assim, que tal desenhar o sombreamento do entorno do edifício que passará pelo retrofit no solstício de verão às 9h00, 12h00 e 15h00 e encontrar a máscara de sombra no ponto central das janelas voltadas para a face norte, leste e oeste? Para isso, será preciso aprender a desenhar a sombra de um elemento por meio do diagrama solar e também conhecer o transferidor de ângulos, bem como sua aplicação no desenho de máscaras de sombra.

Então, que tal começar?

Não pode faltar

Quando estudamos a insolação que atinge uma fachada ou abertura, além de conhecer o caminho do Sol por meio do diagrama solar, também é preciso analisar o entorno para verificar se essa fachada ou abertura é sombreada por algum elemento como um edifício ou vegetação, por exemplo. Logo, o traçado da sombra do entorno é um procedimento importante para compreendermos a influência dele. Vejamos como se faz.

Sombreamento do entorno

Para se desenhar corretamente a sombra de um edifício em determinado momento do ano, é necessário conhecer o

azimute e a altura solar. Com esses dados em mãos, é possível calcular o comprimento da sombra por meio de dois métodos: da trigonometria e da geometria. Vejamos como é o primeiro método:

$$\text{Sombra} = \frac{h}{\tan H}$$

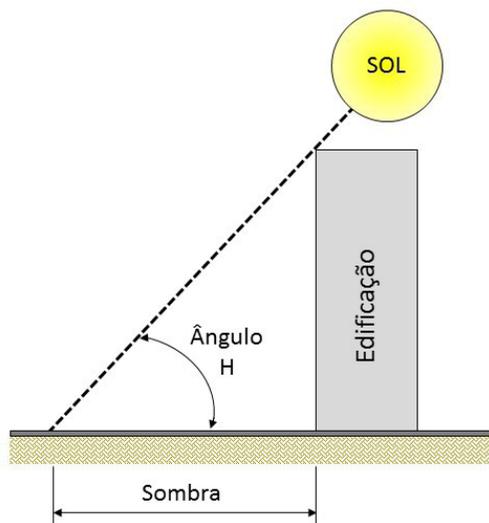
h = altura do edifício [m]

H = altura solar

\tan ou tg = tangente

A segunda opção seria desenhar o corte da edificação no mesmo ângulo do azimute e encontrar o comprimento da sombra traçando o raio solar incidente conforme o ângulo da altura solar (Figura 4.13).

Figura 4.13 | Corte esquemático de uma edificação demonstrando o método para determinar o comprimento da sombra por meio da geometria



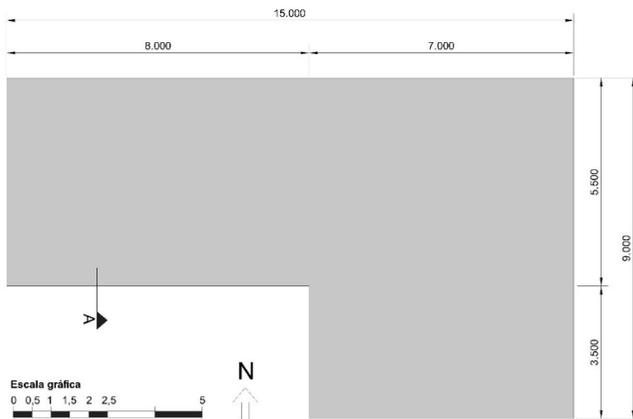
Fonte: elaborada pela autora.



Exemplificando

Vejamos como se desenha a sombra do edifício a seguir (Figura 4.14) no dia 23 de setembro às 15h00, supondo que ele se localiza em São Paulo (latitude -23,61°) e tem 4 metros de altura.

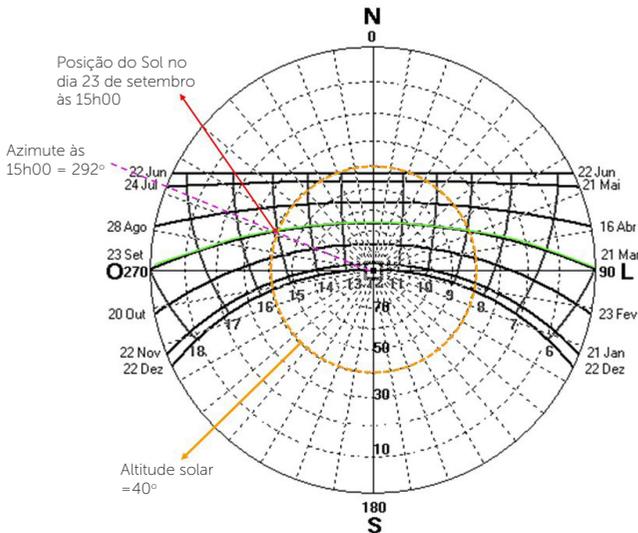
Figura 4.14 | Implantação do edifício com cotas



Fonte: elaborada pela autora.

Tendo a carta solar da cidade em questão em mãos, é necessário identificar no diagrama solar a posição do Sol no momento citado (ponto em vermelho na Figura 4.15). Então, encontra-se o azimute (tracejado em rosa) e a altura solar (tracejado em laranja). Assim, temos: $A = 292^\circ$ (azimute) e $H = 40^\circ$ (altura solar).

Figura 4.15 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude $-23,61^\circ$), evidenciando a posição do Sol, azimute e altura solar no dia 23 de setembro às 15h00h



Fonte: elaborada pela autora.

Então há dois caminhos possíveis para calcular o comprimento da sombra: a trigonometria e a geometria. Na sequência, vemos o cálculo por meio da trigonometria:

$$\text{Sombra} = \frac{h}{\tan H}$$

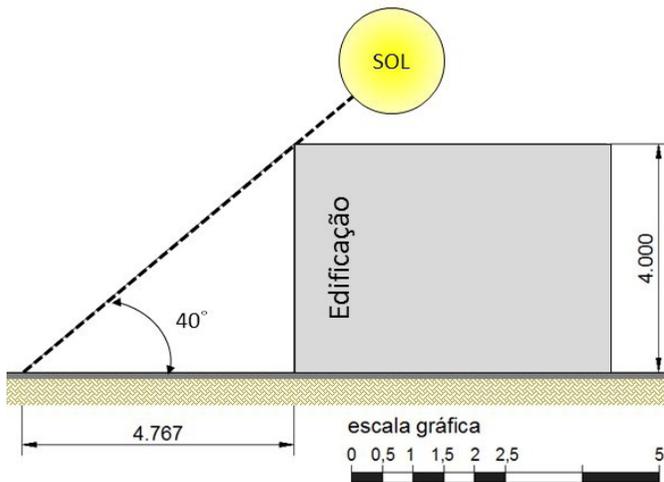
Sendo: $h=4\text{m}$; $H=40^\circ$

$$\text{Sombra} = \frac{4}{\tan 40}$$

$$\text{Sombra}=4,767\text{m}$$

Outra possibilidade é utilizar a geometria desenhando o corte da edificação e a altura solar para conhecer o comprimento da sombra. Na sequência (Figura 4.16) vemos como se faz.

Figura 4.16 | Corte A da edificação demonstrando o método para determinar o comprimento da sombra por meio da geometria



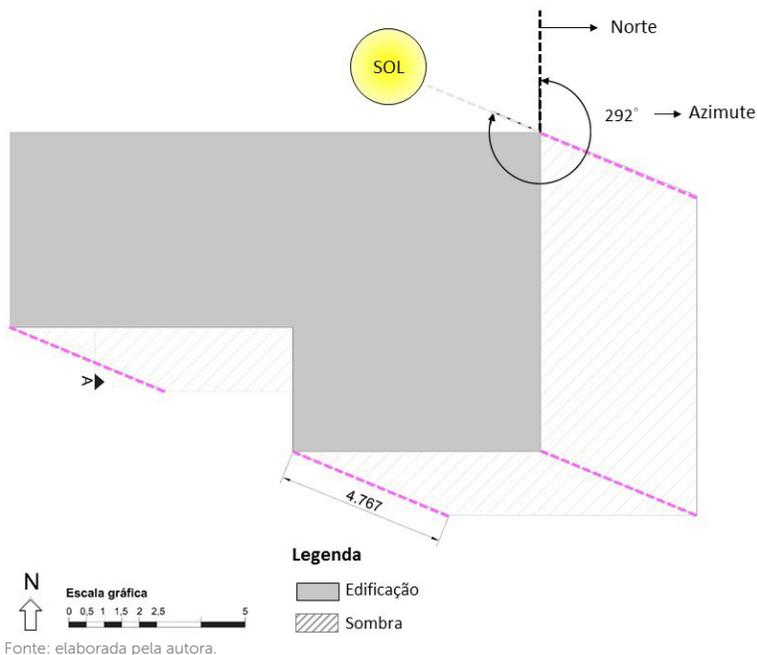
Fonte: elaborada pela autora.

(Note que em ambos os métodos o resultado é o mesmo, o comprimento da sombra é de 4,767 m.)

Em seguida se desenha a sombra em planta. Para isso, em cada aresta da edificação, traça-se uma reta com o comprimento da sombra (4,767 m) no ângulo do azimute () com relação ao norte (linhas rosas na

Figura 4.17). Por fim, basta ligar as linhas e pintar a porção sombreada. O resultado pode ser visto a seguir.

Figura 4.17 | Implantação do edifício com cotas



Desenhar a sombra de uma edificação é fácil, mas não se esqueça de confeccionar todos os desenhos em escala! Além disso, é importante considerar a posição do Sol, analisando no diagrama solar a posição dele em relação ao ponto central (nadir) para sabermos o sentido da sombra em determinado momento.



Refleta

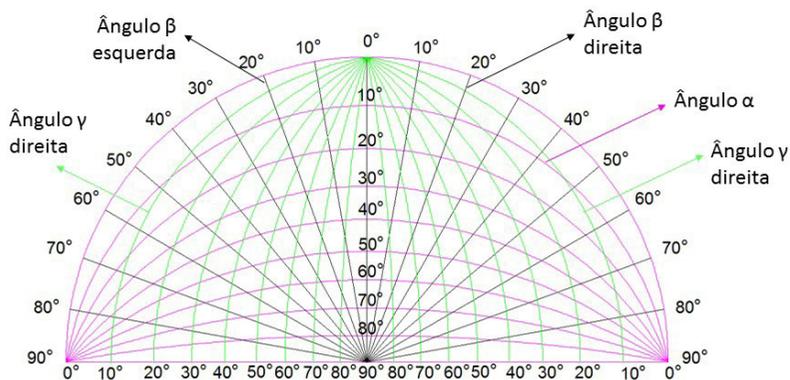
Uma boa maneira de compreender o percurso do Sol é desenhar a sombra de uma obstrução em diferentes horários do dia e momentos do ano. Qual será a diferença no comprimento e sentido da sombra entre a manhã e a tarde? E quanto aos equinócios e solstícios?

Transferidor de ângulos

Além do diagrama solar, outro instrumento importante para o estudo da insolação das edificações é o transferidor de ângulos,

que auxilia no traçado de máscaras de sombra, assim como no dimensionamento de proteções solares das aberturas como o brise vertical e horizontal com valores que variam de 0 a 90°. Como se observa na Figura 4.18, o ângulo α é representado pelas linhas rosas; o β , pelas linhas pretas; e o γ , pelas linhas verdes.

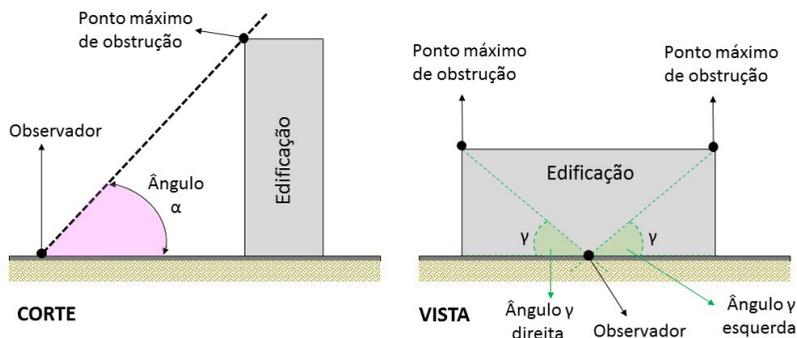
Figura 4.18 | Transferidor de ângulos, evidenciando os ângulos: α (linhas rosas), β (linhas pretas) e γ (linhas verdes)



Fonte: elaborada pela autora.

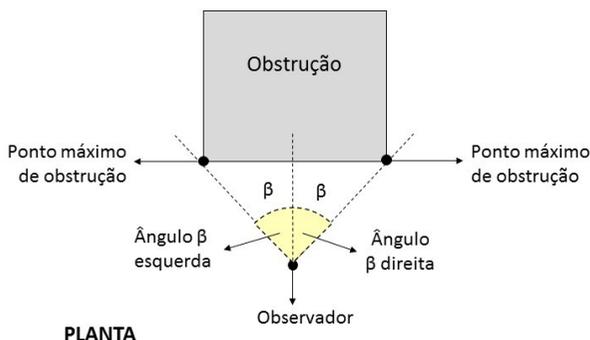
Cada ângulo do transferidor representa um ângulo da construção, o ângulo α (destacado em rosa na Figura 4.19) representa o ângulo em corte formado entre o plano do horizonte do observador e o ponto máximo de obstrução horizontal e auxilia no traçado da obstrução de arestas horizontais superiores perpendiculares à normal da fachada. Já o γ (destacado em verde na Figura 4.19) representa o ângulo em vista formado entre o plano do horizonte do observador e o ponto máximo de obstrução vertical para a direita e esquerda e serve para determinar a obstrução de arestas horizontais superiores, mas paralelas à normal da fachada. Por fim, o ângulo β é traçado em planta e se refere ao ângulo formado entre a normal do observador e o ponto máximo de obstrução de uma aresta vertical.

Figura 4.19 | Corte e vista evidenciando os ângulos: α (destacado em rosa) e γ (destacado em verde).



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.20 | Planta evidenciando os ângulos β (destacados em amarelo) da direita e esquerda.



Fonte: elaborada pela autora.

Máscaras de sombra

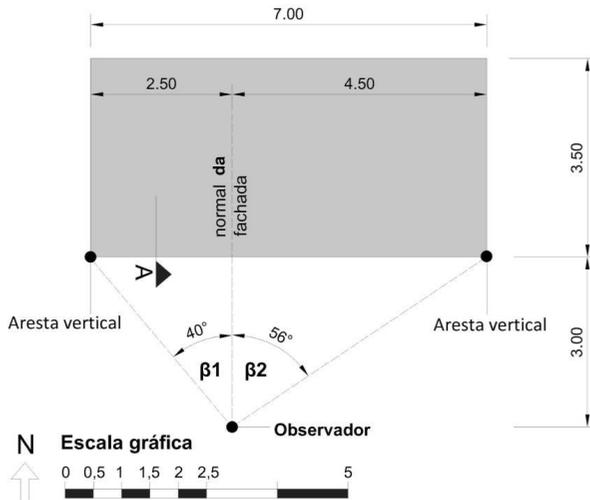
Segundo Bittencourt (2004), a máscara de sombra é a representação gráfica nas cartas solares dos obstáculos que impedem a visão da abóboda celeste por um observador localizado em um ponto qualquer. Assim, a máscara de sombra é um poderoso instrumento para a análise da insolação em determinado ponto de interesse.

Exemplificando

Vejamos como se traça a máscara de sombra do edifício da Figura 4.21, considerando o observador identificado na figura, localizado em São Paulo, SP.

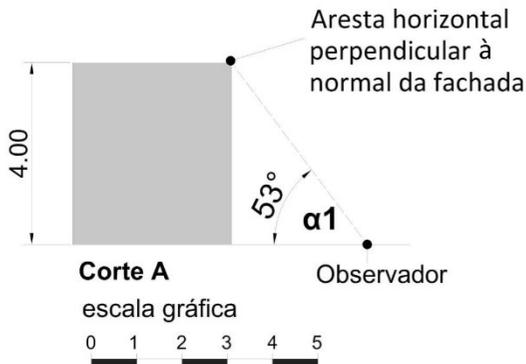
Primeiro, é necessário identificar os ângulos para cada ponto de obstrução. Em planta, foram identificados os ângulos β_1 (40°) e β_2 (56°); já o ângulo α_1 é de 53° e foi encontrado por meio do corte A (Figura 4.22). Note que para o observador em questão a aresta horizontal paralela à normal da fachada não causa sombra e, portanto, não é necessário determinar o ângulo γ , como geralmente ocorre com obstruções à frente do observador.

Figura 4.21 | Implantação do edifício, identificando o ângulo β



Fonte: elaborada pela autora.

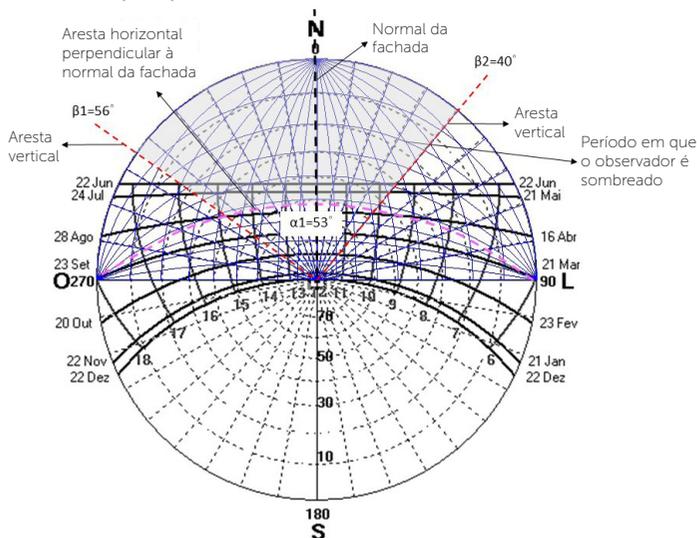
Figura 4.22 | Corte A e vista frontal do edifício, identificando o ângulo α_1



Fonte: elaborada pela autora.

Então, posiciona-se o transferidor de ângulos sobre o diagrama solar, considerando a orientação da obstrução com relação ao observador, e identificam-se os ângulos no transferidor como se vê na Figura 4.23. Por fim, pinta-se a região formada pelas linhas $\alpha 1$ (linha rosa), $\beta 1$ e $\beta 2$ (linhas vermelhas), como mostra a figura a seguir.

Figura 4.23 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude $-23,61^\circ$), com o transferidor de ângulos posicionado à norte e evidenciando os ângulos: $\alpha 1$ (linha rosa), $\beta 1$ e $\beta 2$ (linhas vermelhas)



Fonte: elaborada pela autora.

A área pintada representa o período em que o observador é sombreado pelo obstáculo. Assim, nota-se na Figura 4.23 que o ponto recebe Sol na maior parte do ano, sendo sombreado entre às 9h30 e 16h00 apenas em alguns meses.

Ao estudar a insolação que incide em uma fachada, é importante desenhar a máscara de sombra em pontos estratégicos como no centro das aberturas. Assim, é possível analisar em qual período a abertura tem a insolação obstruída e quando será necessário projetar uma proteção para a abertura.



Assimile

No estudo da obstrução da insolação em um ponto, é importante conhecer alguns conceitos e instrumentos, vamos relembrar os principais?

- Transferidor de ângulos: auxilia no traçado de máscaras de sombra, assim como no dimensionamento de proteções solares das aberturas.
- Máscara de sombra: representa graficamente os obstáculos que impedem a visão da abóboda celeste em um ponto qualquer nos diagramas solares.



Pesquise mais

As máscaras de sombras podem ser traçadas para analisar a obstrução tanto do entorno quanto de elementos da própria construção, como beirais e brises. Então, que tal conhecer mais sobre a análise do desempenho de elementos de proteção solar? Uma boa leitura sobre o assunto é o seguinte artigo: MARQUES, Matheus Peixoto de Paula; LEDER, Solange Maria. Sombreamento e iluminação natural na análise da proteção solar. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 21, n. 29, p. 139-153, 2. sem. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/Arquiteturaeurbanismo/article/view/P.2316-1752.2014v21n29p138>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

De posse desses novos conhecimentos, você é capaz de traçar o sombreamento do entorno, bem como desenhar máscaras de sombra no diagrama solar (ou carta solar) com o auxílio do transferidor de ângulos. Essas habilidades são muito úteis na compreensão da influência do entorno na insolação de um edifício.

Sem medo de errar

Dando continuidade ao estudo da insolação no edifício que seu escritório está realizando um retrofit, é o momento de estudar a influência do entorno. Logo, será necessário desenhar o sombreamento do entorno no solstício de verão às 9h00, 12h00 e 15h00, bem como encontrar a máscara de sombra no ponto central das janelas voltadas para a face norte, leste e oeste. Vejamos como seria o passo a passo para se desenhar a sombra em planta:

- O primeiro passo seria identificar alguns dados da edificação e do entorno, como a altura, a orientação geográfica da edificação e a presença de elementos que possam causar sombra no edifício (como construções e paisagismo).

- Na seção anterior, você já obteve o diagrama solar da cidade em questão e é possível usá-lo agora. Mas, caso prefira, pode refazer o processo utilizando o programa SOL-AR.
- Logo, é necessário identificar no diagrama solar a posição do Sol no momento desejado e encontrar o azimute e a altura solar. Caso seja preciso, reveja o método na Figura 4.15. Não se esqueça de repetir esse passo para todos os horários desejados (solstício de verão às 9h00, 12h00 e 15h00).
- Na sequência, calcula-se o comprimento da sombra por meio da trigonometria e/ou da geometria. Para o primeiro caso, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Sombra} = \frac{h}{\tan H}$$

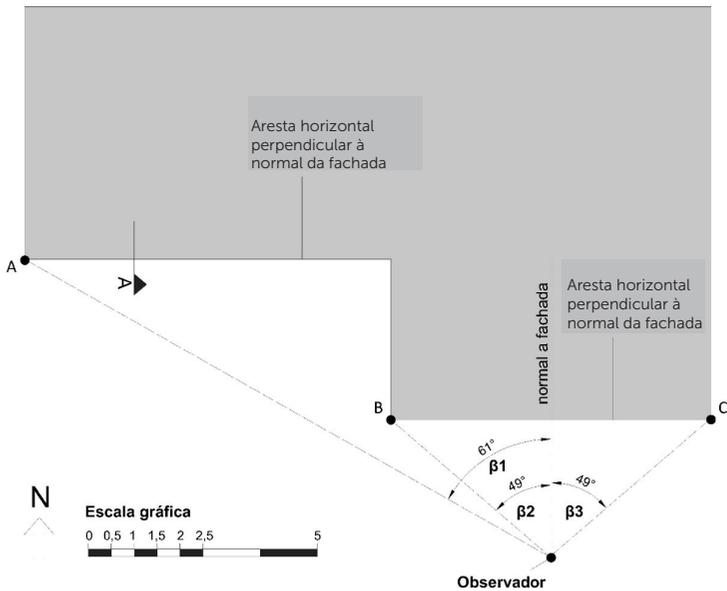
Sendo: h = altura do edifício [m]; H altura solar; tan ou tg = tangente.

- Caso prefira usar a geometria, basta desenhar o corte da edificação em escala e traçar uma reta que toca o ponto máximo de obstrução da edificação com o ângulo da altura solar para cada momento. Isso representará o raio solar. O comprimento da sombra será dado pela distância do edifício ao ponto onde a reta toca o solo (a Figura 4.16 apresenta um exemplo).
- Então, desenha-se a sombra em planta. Para isso, em cada aresta da edificação, traça-se uma reta com o comprimento da sombra no ângulo do azimute. Por fim, basta ligar as linhas e pintar a porção sombreada. Um exemplo pode ser visto na Figura 4.17, lembrando que para cada horário teremos uma sombra diferente.

Agora, vejamos um exemplo de como se traça a máscara de sombra do edifício para um ponto. Nesse caso, vamos considerar a implantação da Figura 4.24 e a localização em São Paulo, SP.

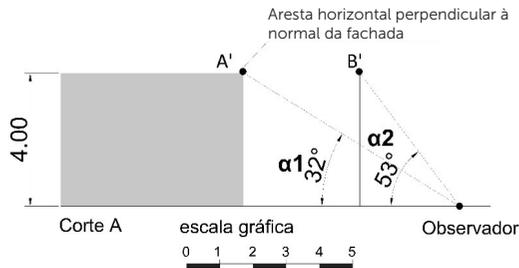
- Começa-se identificando os ângulos para cada ponto de obstrução. Em planta, foram identificados os ângulos β_1 (61°), β_2 (49°) e β_3 (49°). Logo, como se vê no corte A (Figura 4.25) são encontrados os ângulos α_1 (32°) e α_2 (53°).

Figura 4.24 | Implantação do edifício, identificando o ângulo β e os vértices que produzem sombra no observador



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.25 | Corte A do edifício, identificando o ângulo α

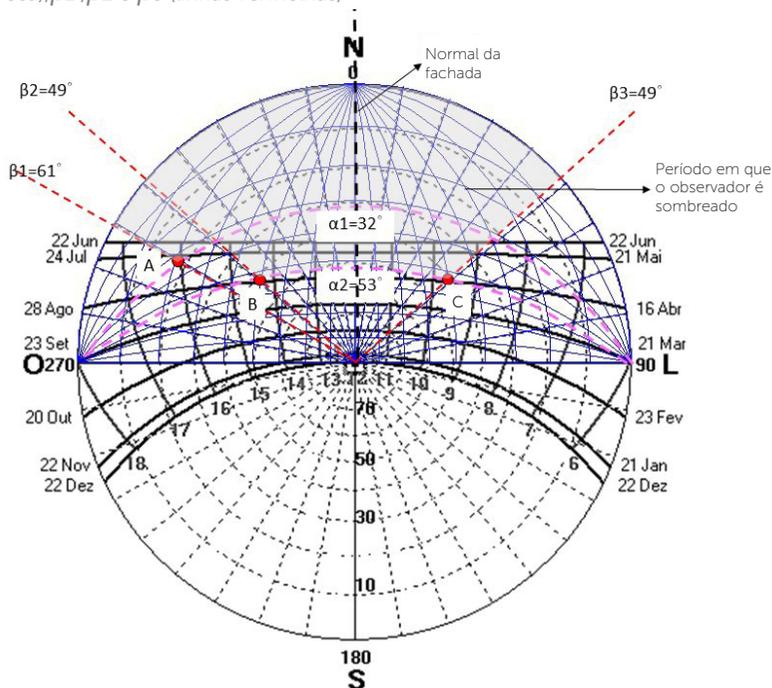


Fonte: elaborada pela autora.

- Então, posiciona-se o transferidor de ângulos sobre o diagrama solar considerando a orientação da obstrução com relação ao observador. Logo, é necessário identificar os ângulos no transferidor como se vê na Figura 4.26. Por fim, pinta-se a região formada pelas linhas α (linha rosa) e β (linhas vermelhas), a qual representa o período em que o observador é sombreado pelo obstáculo. Observe que,

na Figura 4.26, para facilitar o traçado da máscara foram identificados os vértices indicados na planta da Figura 4.24.

Figura 4.26 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude $-23,61^\circ$), com o transferidor de ângulos posicionado à norte e evidenciando os ângulos: $\alpha 1$ (linha rosa), $\beta 1$, $\beta 2$ e $\beta 3$ (linhas vermelhas)



Fonte: elaborada pela autora.

Assim, é possível identificar os momentos do ano em que as aberturas são sombreadas ou recebem insolação, permitindo analisar quais precisarão de proteção ou não, o que será assunto da próxima seção.

Avançando na prática

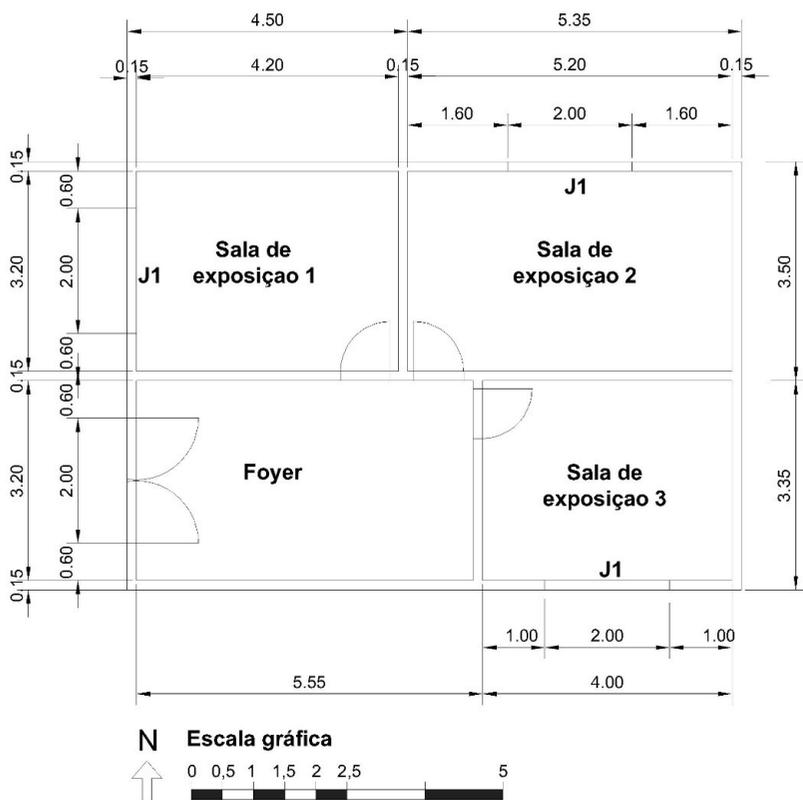
Estudo da insolação de aberturas

Descrição da situação-problema

Um antigo museu da cidade de São Paulo, SP, está recebendo uma exposição temporária com inúmeras pinturas antigas e precisa decidir qual a melhor sala para acomodá-las. Então, o curador do

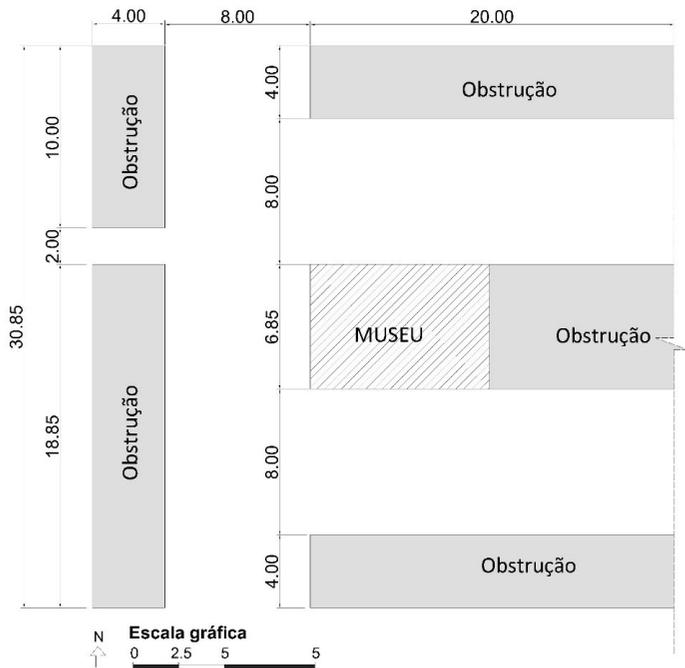
museu contata seu escritório e encomenda o estudo de insolação de algumas salas **na data da exposição**, visto que as pinturas são muito delicadas e precisam ficar protegidas da insolação direta. De posse desse estudo, será possível decidir qual é a sala mais adequada para expor as obras. A Figura 4.27 apresenta a planta do museu, sendo que as janelas J1 têm 2m de largura, 1 metro de altura e 1 metro de peitoril. Além disso, o museu é rodeado de prédios de 8 metros de altura, distando 8 metros com relação ao museu, como mostra a Figura 4.28.

Figura 4.27 | Planta do museu



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.28 | Implantação do museu



Fonte: elaborada pela autora.

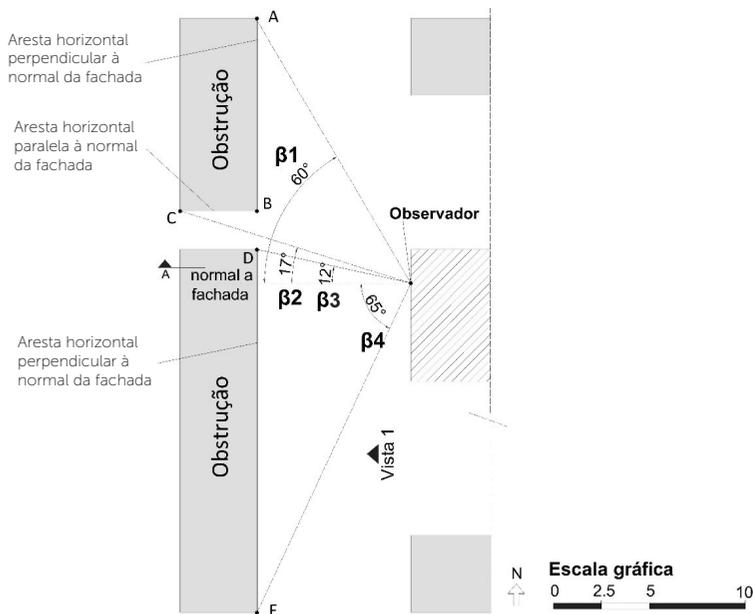
Com base nisso, você propõe fazer a máscara de sombra das janelas J1 presentes nas salas de exposição para verificar a obstrução do entorno e auxiliar na escolha da sala adequada. Como você poderia resolver esse problema?

Resolução da situação-problema

Vejam os passos a seguir para executar a máscara de sombra da janela da sala de exposição 1.

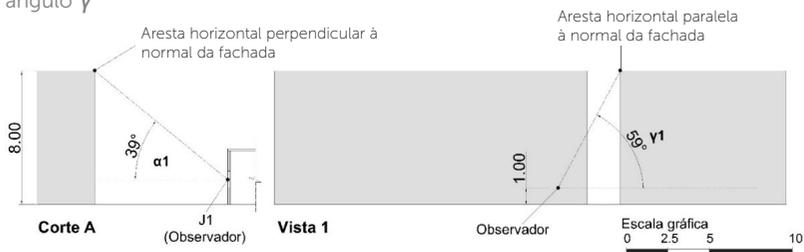
- Primeiro, obtém-se o diagrama solar da cidade de São Paulo ($-23,61^\circ$), utilizando o programa SOL-AR.
- Em planta, identifica-se o ângulo β . No caso da sala de exposição 1 temos: $\beta_1 = 60^\circ$, $\beta_2 = 17^\circ$, $\beta_3 = 12^\circ$ e $\beta_4 = 65^\circ$; já o ângulo γ é de 39° e foi encontrado por meio do corte A (Figura 4.30). Tendo a vista frontal (Figura 4.30), foi identificado o ângulo γ_1 (59°), que é relativo à aresta C-B (horizontal e perpendicular à normal da fachada).

Figura 4.29 | Implantação do edifício, identificando o ângulo β e os vértices que produzem sombra no observador



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.30 | Corte A e B do edifício, identificando o ângulo α e vista 1, além do ângulo γ

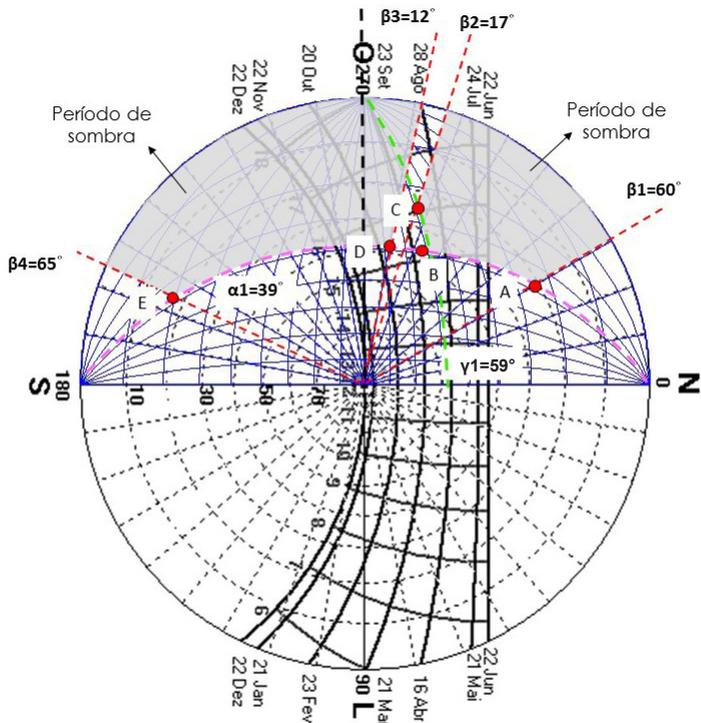


Fonte: elaborada pela autora.

- Então, posiciona-se o transferidor de ângulos sobre o diagrama solar considerando a orientação da obstrução com relação ao observador. Logo, é necessário identificar os ângulos no transferidor como se vê na Figura 4.31. Por fim, pinta-se a região formada pelas linhas α (linha rosa), β (linhas vermelhas) e γ (linhas verdes), a qual representa o período em que o observador é sombreado pelo obstáculo.

Observe que para facilitar o traçado da máscara na Figura 4.31 foram identificados os vértices indicados na planta da Figura 4.29.

Figura 4.31 | Diagrama solar para a cidade de São Paulo, SP (latitude $-23,61^\circ$), com o transferidor de ângulos posicionado à norte e evidenciando os ângulos: α_1 (linha rosa); $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 (linhas vermelhas); e γ_1 (linha verde)



Fonte: elaborada pela autora.

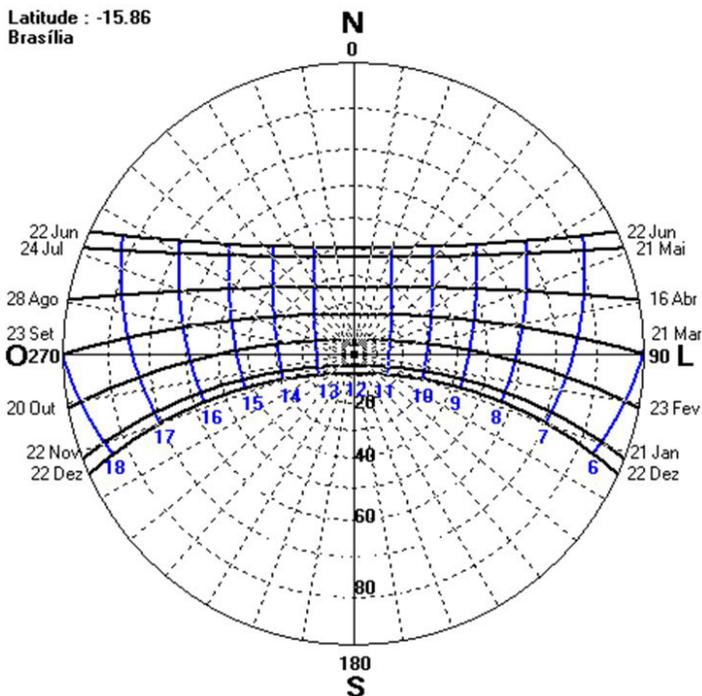
Os mesmos passos devem ser repetidos para as outras janelas, permitindo analisar qual é a sala mais adequada para receber a exposição.

Faça valer a pena

1. O traçado da sombra do entorno é importante para compreendermos a influência dele em um edifício e para isso é necessário conhecer o azimute e a altura solar, além de algumas informações do projeto. O diagrama solar a seguir representa o percurso aparente do Sol em Brasília e possibilita determinar o azimute e a altura solar.

Diagrama solar para a cidade de Brasília, DF (latitude $-15,86^\circ$)

Latitude : $-15,86$
Brasília



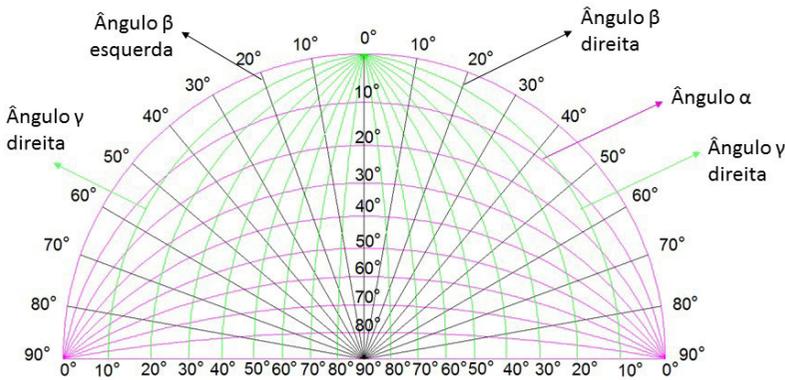
Fonte: elaborada pela autora.

Então, considerando um prédio localizado em Brasília e com 10 metros de altura, qual alternativa apresenta corretamente o comprimento de sua sombra no dia 22 de dezembro às 17h00?

- a) 3,64 m
- b) 396,989 m
- c) 5,773 m
- d) 10 m
- e) 70 m

2. Além do diagrama solar, outro instrumento importante para o estudo da insolação das edificações é o transferidor de ângulos, que auxilia no traçado _____, assim como no dimensionamento de proteções solares das aberturas. A figura a seguir mostra um transferidor de ângulos, sendo α representado pelas _____, β pelas _____ e _____ pelas linhas verdes.

Transferidor de ângulos: α , β e γ



Fonte: elaborada pela autora.

Qual alternativa completa as lacunas do texto anterior na ordem correta?

- a) da sombra dos edifícios; linhas verdes; linhas rosas; γ .
- b) de máscaras de sombra; linhas rosas; linhas pretas; λ .
- c) de máscaras de sombra; linhas rosas; linhas pretas; γ .
- d) da sombra dos edifícios; linhas rosas; linhas pretas; λ .
- e) da sombra dos edifícios; linhas pretas; linhas rosas; λ .

3. A máscara de sombra é um poderoso instrumento para a análise da insolação em determinado ponto de interesse e pode ser definida como a representação gráfica nas cartas solares dos obstáculos que impedem a visão da abóboda celeste por um observador localizado em um ponto qualquer (BITTENCOURT, 2004). Nesse sentido, avalie as afirmativas a seguir:

I. No estudo da insolação de um edifício, é importante considerar as obstruções do entorno. Para isso, uma possibilidade é desenhar a máscara de sombra em pontos estratégicos, como no centro das aberturas, por exemplo.

II. As máscaras de sombras podem ser traçadas para analisar a obstrução tanto da insolação quanto de elementos da própria construção, como beirais e brises.

III. O traçado da máscara de sombra pode ser executado tanto com o auxílio do transferidor de ângulos como do diagrama solar, mas não se usa os dois ao mesmo tempo.

Considerando as afirmativas anteriores, qual alternativa apresenta apenas as corretas?

- a) I e II, apenas.
- b) I, II e III.
- c) I e III, apenas.
- d) II e III, apenas
- e) I, apenas.

Seção 4.3

Projeto de proteções solares

Diálogo aberto

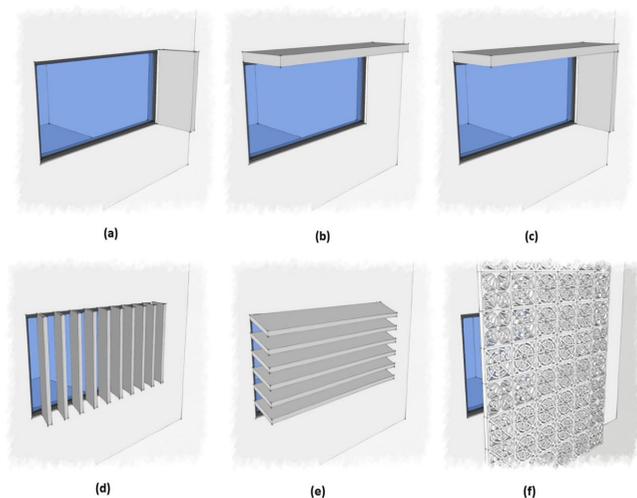
Nesta unidade, você já analisou a insolação que atinge a edificação ao longo do ano, identificando as horas de Sol durante o solstício de verão e inverno que atingem as fachadas do edifício; avaliou a influência do entorno desenhando o sombreamento do entorno do edifício no solstício de verão às 9h00, 12h00 e 15h00; e encontrou a máscara de sombra no ponto central das janelas voltadas para a face norte, leste e oeste. Para isso, foi necessário aprender a desenhar a sombra de um elemento por meio do diagrama solar, além de conhecer o transferidor de ângulos e sua aplicação no desenho de máscaras de sombra.

Agora que você já compreendeu a insolação que atinge um edifício e a influência do sombreamento nas fachadas e nas aberturas, é o momento de avaliar quais janelas precisarão de proteção e definir suas dimensões. Então, identifique quais janelas recebem excesso de insolação e escolha uma delas para proteger. Que tal dimensionar um protetor solar para uma janela do seu projeto?

Não pode faltar

Após a análise da insolação de uma edificação, é momento de propor soluções para proteger as aberturas. O sombreamento das áreas envidraçadas pode ser feito com proteções solares externas (Figura 4.32) e com proteções internas (cortinas ou persianas). A primeira opção é a mais eficiente, pois impede que a insolação atravesse o vidro e, portanto, reduz a carga térmica com mais eficiência.

Figura 4.32 | Mosaico de exemplos de proteções solares externas: brise vertical (a) horizontal (b), misto (c), vertical angular (d) e horizontal angular (e), além do elemento vazado, também conhecido como cobogó (f)



Fonte: elaborada pela autora.

Pesquise mais

O cobogó (exemplificado na Figura 4.32) teve origem na cidade de Recife em 1920, com inspiração muxarabi árabe, e é um forte elemento da arquitetura brasileira, sendo ainda muito usado atualmente (DELAQUA, 2015). Então, que tal pesquisar no “Google imagens” alguns exemplos de proteção externa das aberturas para se inspirar? Sugestões de palavras-chave: brise vertical, brise horizontal, brise misto, brise angular, cobogó, elemento vazado e muxarabi.

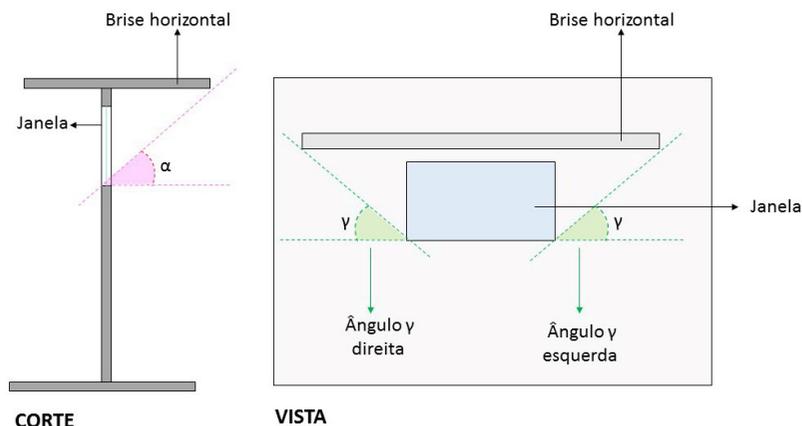
Dimensionamento e análise de proteção solar

Para dimensionar uma proteção solar externa, utiliza-se o transferidor de ângulos que conhecemos na seção anterior (Figura 4.18). Já vimos como utilizá-lo para traçar máscaras de sombra em um determinado ponto e agora aprenderemos o método para determinar as dimensões de uma proteção, a fim de bloquear ou deixar passar o Sol nos momentos desejados.

Assim, utiliza-se o ângulo α (destaque em rosa na Figura 4.33) para encontrar o comprimento de um brise horizontal, já a largura

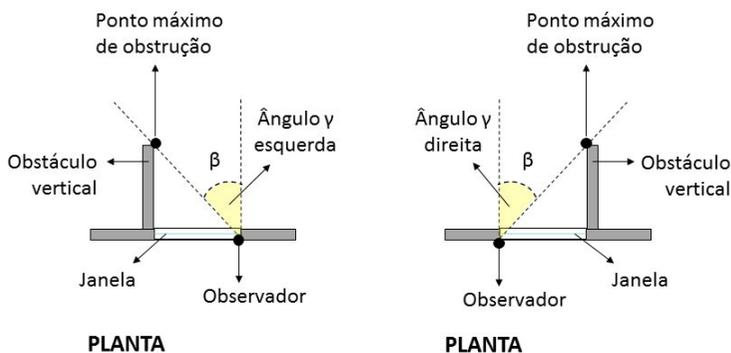
desse tipo de brise é determinada utilizando o ângulo γ (realces em verde na Figura 4.33). E, para dimensionar o comprimento de um brise vertical, é necessário utilizar o ângulo β (destaques em amarelo na Figura 4.34).

Figura 4.33 | Corte e vista evidenciando os ângulos: α (destacado em rosa) e γ (destacados em verde)



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.34 | Planta evidenciando os ângulos β (destacados em amarelo) da direita e esquerda



Fonte: elaborada pela autora.

Exemplificando

Vamos ver uma aplicação do transferidor de ângulos para determinar as dimensões de uma proteção solar da abertura de 1 m de altura e 1 m

de largura, distando 1 m do solo, e localizada em uma fachada oeste na cidade de Piracicaba, SP.

1. Primeiro, estabelecem-se os dias e horários quando se deseja sombra ou insolação na abertura. Para isso, é possível recorrer às recomendações da carta de Givoni ou avaliar as médias mensais de temperatura do ar ou radiação solar hora a hora em dias típicos de verão e inverno. Neste exemplo, usaremos as temperaturas diárias encontradas no arquivo climático da cidade, como se vê no Quadro 4.01.

Quadro 4.1 | Temperatura do ar hora a hora nos dias 21 de junho e 21 de dezembro para a cidade de Piracicaba, SP

hora	Temperatura do ar (°C)	
	21/jun	21/dez
1:00	18.60	18.80
2:00	18.50	18.20
3:00	17.20	18.10
4:00	15.80	17.90
5:00	16.00	17.40
6:00	15.10	17.60
7:00	16.10	19.30
8:00	16.50	22.20
9:00	17.50	23.20
10:00	18.50	24.60
11:00	21.70	26.40
12:00	23.90	27.20
13:00	24.00	27.50
14:00	25.00	24.00
15:00	25.10	23.80
16:00	24.20	23.30
17:00	23.00	22.70
18:00	22.30	21.60
19:00	21.30	19.90
20:00	21.00	20.30
21:00	20.60	19.60
22:00	19.90	19.50
23:00	19.60	19.50
0:00	19.40	19.60

LEGENDA:



Horários que superam os 22°C.

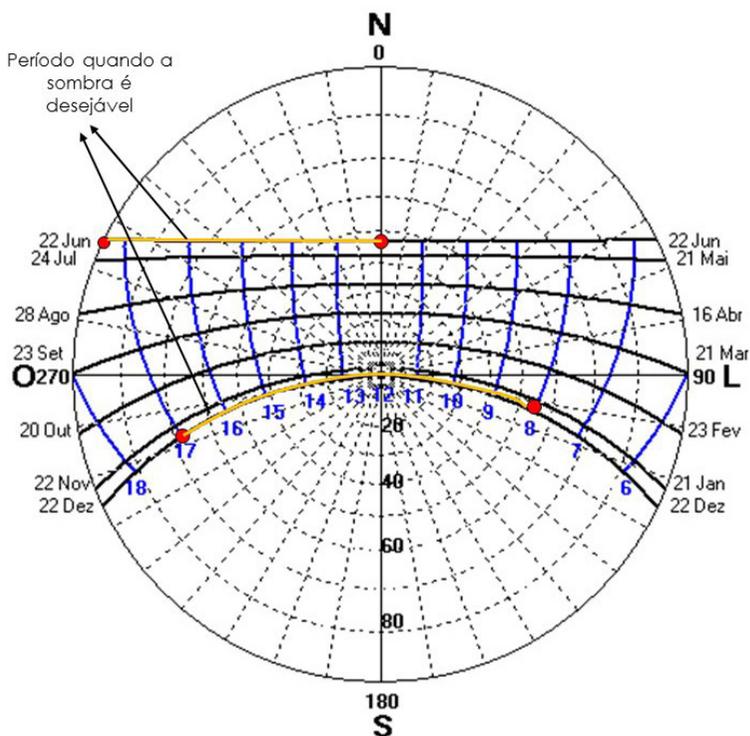
Fonte: adaptada de Roriz Bioclimática (2012).

Para determinar os períodos em que a sombra é desejável, foram selecionadas as horas nas quais a temperatura supera os 22°C (destacadas em amarelo no Quadro 4.1). Assim, ficou definido sombrear:

- Solstício de inverno (21 de junho): das 12h00 às 18h00.
- Solstício de verão (21 de dezembro): das 8h00 às 17h00.

2. O próximo passo é identificar na carta solar os momentos do ano que desejamos proteger, como destacado em amarelo na Figura 4.35.

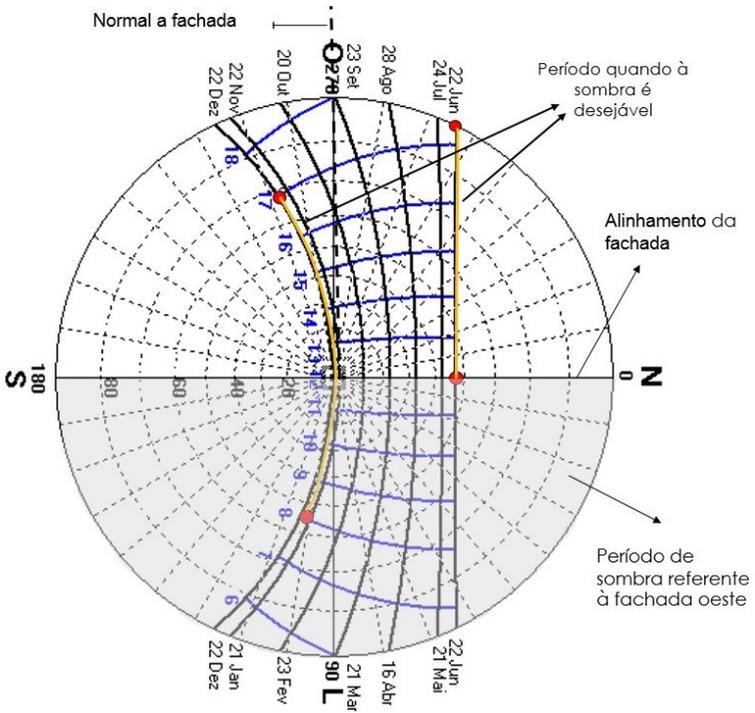
Figura 4.35 | Diagrama solar para a cidade de Piracicaba, SP (latitude -22,43°), evidenciando as horas em que a sombra é desejável



Fonte: elaborada pela autora.

3. Então, posiciona-se a carta solar corretamente com relação à orientação da edificação e identifica-se o período de sombra referente à fachada – no caso, à fachada oeste (Figura 4.36).

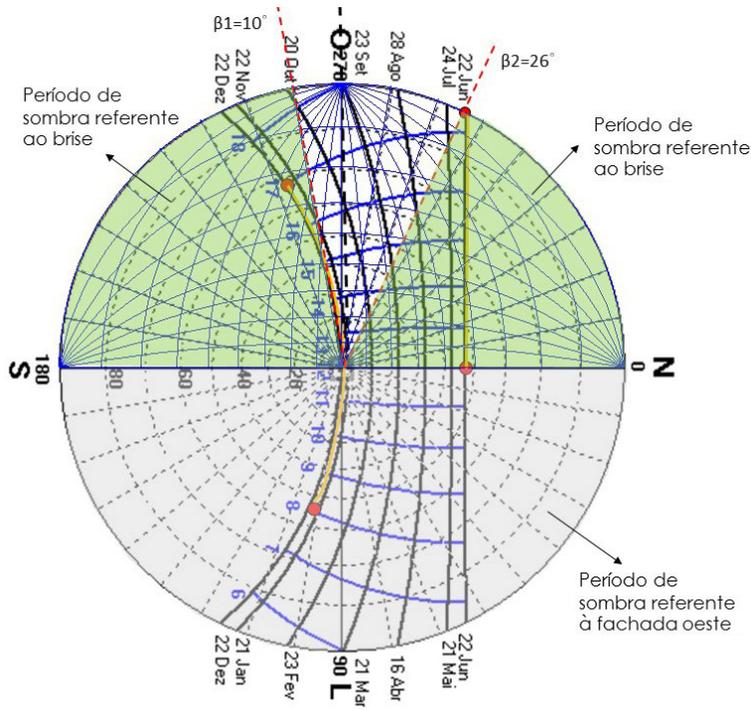
Figura 4.36 | Diagrama solar para a cidade de Piracicaba, SP (latitude -22,43°), evidenciando a sombra referente à fachada oeste



Fonte: elaborada pela autora.

4. Na sequência, posiciona-se o transferidor de acordo com a fachada a ser protegida e, feito isso, é necessário identificar os ângulos para o mascaramento. Na Figura 4.37, foram definidos dois brises verticais (ângulos β), a fim de proteger a abertura da insolação em todos os períodos desejados. As sombras dos brises foram pintadas com cor verde.

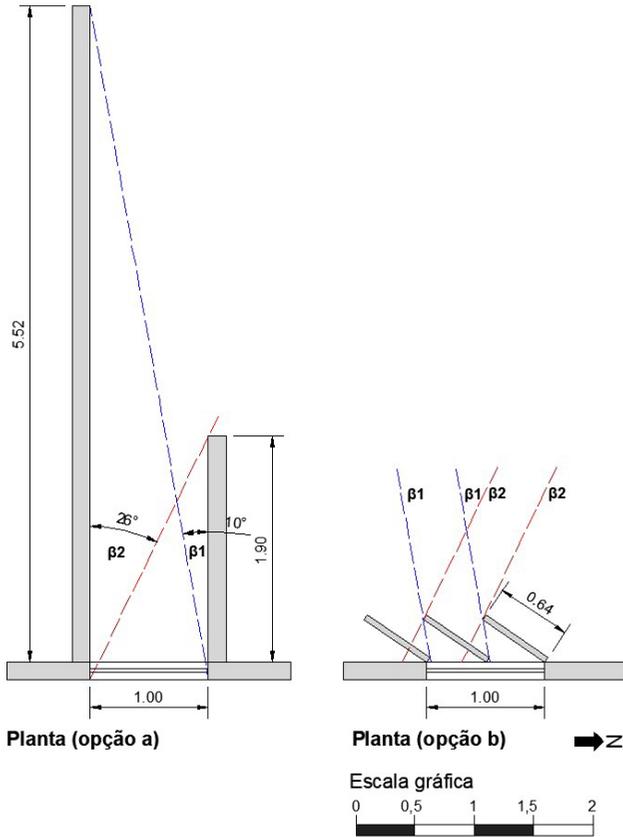
Figura 4.37 | Diagrama solar para a cidade de Piracicaba, SP (latitude $-22,43^\circ$), evidenciando os ângulos definidos para os brises (β) e a sombra causada por eles (destaques em verde)



Fonte: elaborada pela autora.

5. Por fim, devemos transferir os ângulos da carta solar para o projeto. Nessa etapa, temos infinitas possibilidades de acordo com a imaginação do projetista. A Figura 4.38 apresenta duas soluções diferentes utilizando os mesmos ângulos, a solução "a" é um brise vertical e a "b" é um brise angular vertical.

Figura 4.38 | Soluções de brises verticais para a fachada oeste em planta, identificando os ângulos β_1 (linha azul) e β_2 (linha vermelha)



Fonte: elaborada pela autora.

Perceba que, na segunda opção (b), como se adotou um brise angular foi possível elaborar um brise menor que o pensado para a primeira opção (a), tendo apenas 0,64 m de comprimento e a mesma eficiência.

O transferidor de ângulos pode ser usado não somente no dimensionamento de novos brises, mas também para conhecer a eficiência de proteções solares existentes. Neste caso se faz o caminho inverso. Primeiro, identificam-se os ângulos formados pela proteção (em planta, corte e vista) e, então, os valores são transferidos para a carta solar com o transferidor de ângulos.

Assim, é fácil analisar o período em que a proteção será eficiente, ou seja, quando ela fará sombra na abertura.



Reflita

As fachadas leste e oeste são difíceis de proteger da insolação, sendo necessário adotar grandes brises verticais ou, então, traçar brises angulares, enquanto a fachada norte é facilmente protegida com brises horizontais. Então, considerado apenas a insolação, qual seria a melhor fachada para se localizar as aberturas?

A fachada norte, apesar de receber mais insolação que as fachadas leste e oeste, pode ser protegida com brises horizontais. Assim, é possível projetar mais aberturas nessa fachada, desde que protegidas externamente.



Assimile

Que tal recordar os ângulos do transferidor solar e sua aplicação no projeto de brises?

- Ângulo α : aplica-se na obtenção do comprimento de um brise horizontal.
- Ângulo γ : aplica-se na determinação da largura de um brise horizontal.
- Ângulo β : aplica-se no dimensionamento do comprimento de um brise vertical.

Agora que você conhece esses novos conceitos, já tem a habilidade de utilizar o transferidor de ângulos juntamente com o diagrama solar (ou carta solar) para o dimensionamento e análise de proteções solares.

Sem medo de errar

Estamos chegando ao fim do projeto de retrofit. Então, é o momento de escolher quais janelas precisarão de proteção e dimensioná-la. Vejamos o passo a passo!

1. Primeiro, estabelecem-se os dias e horários quando se deseja sombra ou insolação na abertura. Para isso, é possível recorrer às recomendações da carta de Givoni ou avaliar as médias mensais de temperatura do ar ou radiação solar hora a hora em dias típicos de verão e inverno, um exemplo pode ser visto no Quadro 4.1, segundo a qual

foram definidos os seguintes períodos de sombra:

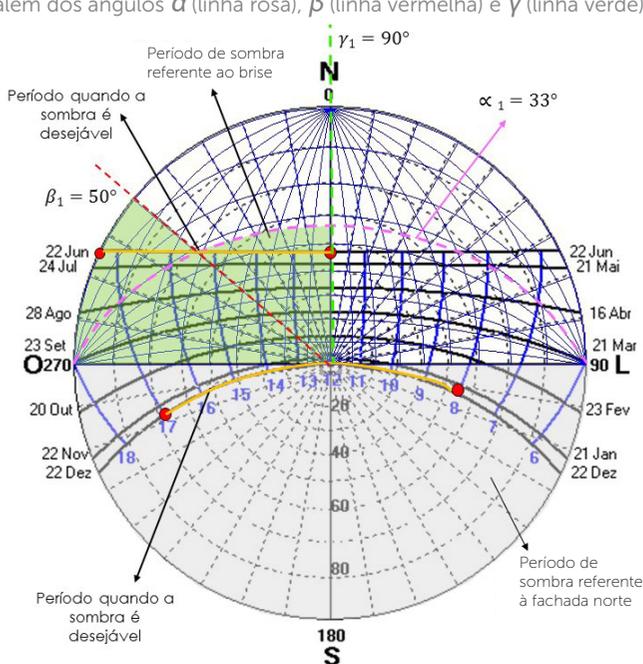
- Solstício de inverno (21 de junho): das 12h00 às 18h00.
- Solstício de verão (21 de dezembro): das 8h00 às 17h00.

2. O próximo passo é identificar na carta solar os momentos do ano que desejamos proteger, como mostra a Figura 4.35.

3. Então, posiciona-se a carta solar corretamente com relação à orientação da fachada em questão e identifica-se o período de sombra referente a essa fachada (ver exemplo da Figura 4.39). Nesse momento, é possível aproveitar o estudo realizado na última seção e incluir o estudo da sombra do entorno em cada abertura.

4. Na sequência, posiciona-se o transferidor de acordo com a fachada a ser protegida e identificam-se os ângulos para o mascaramento. No exemplo, foi projetado um brise misto, para isso foi necessário encontrar o ângulo (comprimento do brise horizontal), γ (largura do brise horizontal) e β (comprimento do brise vertical), como se vê na Figura 4.39.

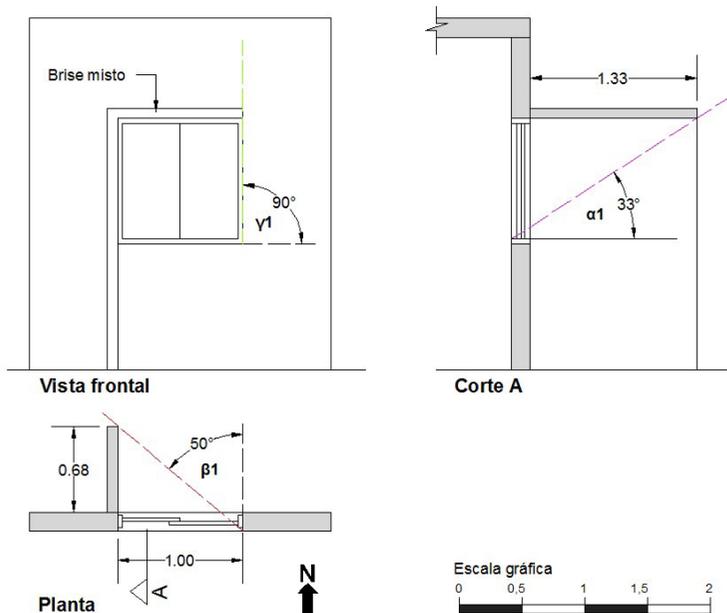
Figura 4.39 | Diagrama solar para a cidade de Piracicaba, SP (latitude $-22,43^\circ$), evidenciando o período desejado de sombra (destaque em amarelo), assim como a sombra referente à fachada norte (destaque em cinza) e ao brise (destaque em verde), além dos ângulos α (linha rosa), β (linha vermelha) e γ (linha verde)



Fonte: elaborada pela autora.

5. O último passo é transferir os ângulos da carta solar para o projeto. Para isso, existem muitas possibilidades. A Figura 4.40 apresenta uma solução de brise misto conforme os ângulos identificados anteriormente, supondo uma abertura de 1 m de altura e 1 m de largura, distando 1 m do solo.

Figura 4.40 | Solução de brise misto em planta, vista e corte, identificando os ângulos α (linha rosa), β (linha vermelha) e γ (linha verde)



Fonte: elaborada pela autora.

Dimensionar um brise é muito simples! Agora, basta aplicar esses passos às aberturas que deseja proteger em seu projeto.

Avançando na prática

Análise de proteções solares

Descrição da situação-problema

Uma academia da cidade de Fortaleza, CE, procura seu escritório para uma consultoria após receber muitas reclamações de seus clientes sobre o calor em sua sala de ginástica.

Durante uma visita técnica ao local, sua equipe identifica que o maior problema da sala é uma janela, voltada a leste, de 2 m x 2 m que dista 0,40 m do piso.

Assim, fica decidido projetar um protetor solar para essa abertura, visando protegê-la no verão durante os horários de uso da sala (das 8h00 às 11h00). Você, como especialista na área, pode solucionar esse problema de que forma?

Resolução da situação-problema

Vejamos uma possível solução para a situação apresentada:

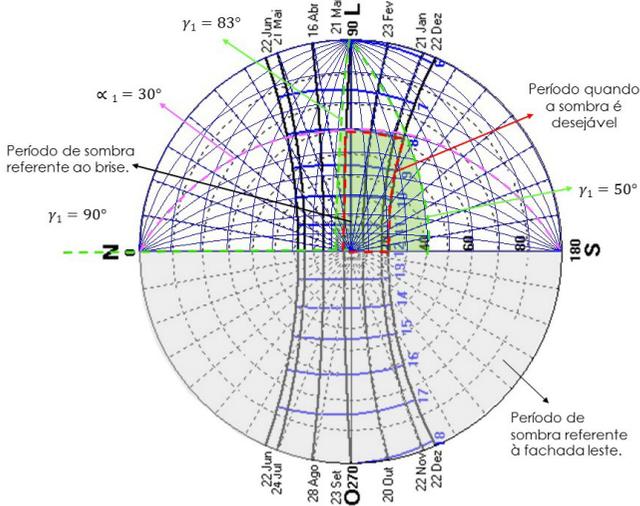
1. Comece obtendo o diagrama solar da cidade de Fortaleza, CE (latitude $-3,78^\circ$), utilizando o programa SOL-AR.

2. Em seguida, identifique na carta solar os momentos do ano que desejamos proteger, ou seja, o verão (21 de dezembro a 20 de março) durante os horários de uso da sala (das 8h00 às 11h00), como mostra a Figura 4.41.

3. Então, posiciona-se a carta solar corretamente com relação à orientação da fachada em questão e identifica-se o período de sombra referente a essa fachada (ver exemplo da Figura 4.41).

4. Dando continuidade, posiciona-se o transferidor de acordo com a fachada a ser protegida e identificam-se os ângulos para o mascaramento. Para essa situação, uma possibilidade seria projetar um brise horizontal. Em vista disso, é necessário encontrar o ângulo (comprimento do brise) e γ (largura do brise), como se vê na Figura 4.41.

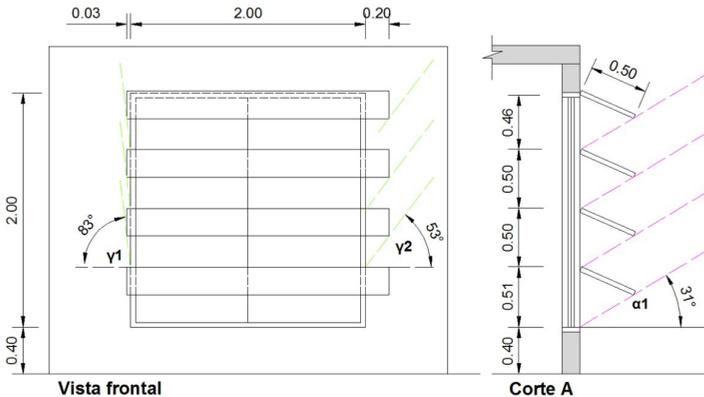
Figura 4.41 | Diagrama solar para a cidade de Fortaleza, CE (latitude $-3,78^\circ$), evidenciando o período desejado de sombra (destaque em vermelho), assim como a sombra referente à fachada leste (destaque em cinza) e ao brise (destaque em verde), bem como os ângulos α (linha rosa) e γ (linha verde)



Fonte: elaborada pela autora.

5. O último passo é transferir os ângulos da carta solar para o projeto. Para isso, existem muitas possibilidades. A Figura 4.42 apresenta uma solução de brise horizontal conforme os ângulos identificados anteriormente.

Figura 4.42 | Solução de brise horizontal em vista e corte, identificando os ângulos α (linha rosa) e γ (linha verde)



Fonte: elaborada pela autora.

Faça valer a pena

1. O sombreamento das aberturas pode ser feito com proteções solares externas e com proteções internas. O ideal é adotar a proteção externa sempre que possível, pois esta impede que a insolação atravesse o vidro, sendo mais eficiente. A figura a seguir mostra vários tipos de proteções externas das aberturas.

Mosaico de fotos de proteções solares externas: (a) Faculdade de Direito de Valencia, (b) Imperial County Services Building – USA, (c) Instituto Moreira Salles – Rio de Janeiro, RJ



(a)



(b)



(c)

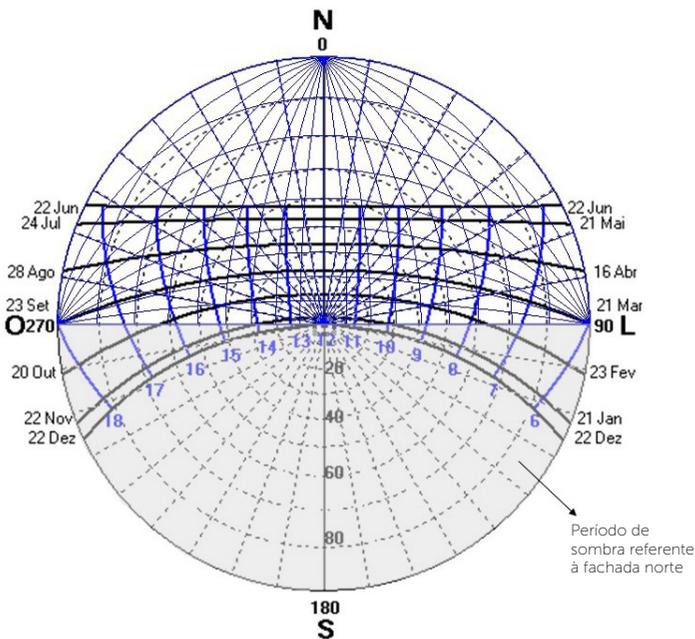
Fonte: adaptada de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Facultad_de_Derecho_de_Valencia_3.JPG>; <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imperial_County_Services_building_damage_1979.jpg>; <<https://www.flickr.com/photos/11155422@N00/6601184229/>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

Qual alternativa relaciona corretamente o tipo de proteção solar com as imagens?

- a) a - brise horizontal; b - brise vertical; c – cobogó.
- b) a - brise misto; b - brise horizontal; c – cobogó.
- c) a - brise horizontal; b - brise vertical; c – brise misto.
- d) a - brise horizontal; b - brise vertical; c – brise angular.
- e) a - brise misto; b - brise vertical; c – cobogó.

2. A eficiência de proteções solares existentes pode ser analisada com o auxílio do transferidor de ângulos e da carta solar do local. A figura a seguir fornece esses instrumentos para a cidade do Rio de Janeiro, RJ.

Diagrama solar para a cidade do Rio de Janeiro, RJ (latitude $-22,83^\circ$), com transferidor de ângulos posicionado na fachada norte



Fonte: elaborada pela autora.

Considere uma abertura posicionada em uma fachada norte com 1,5 m de largura por 1,5 m e um beiral de 0,90 m. Avançando 0,5 m na largura em ambos os lados, qual alternativa indica corretamente o número de horas de Sol que incide nessa janela no dia 23 de setembro?

- a) No dia 23 de setembro, o brise sombreia a abertura o tempo todo, portanto não recebe Sol.
- b) No dia 23 de setembro, o brise sombreia a abertura das 9h45 às 13h45, portanto esta recebe 4 horas de Sol.
- c) No dia 23 de setembro, o brise não sombreia a abertura, portanto esta recebe 12 horas de Sol.
- d) No dia 23 de setembro, o brise sombreia a abertura das 10h30 às 13h30, portanto esta recebe 9 horas de Sol.
- e) No dia 23 de setembro, o brise sombreia a abertura das 8h30 às 16h30, portanto esta recebe 3 horas de sol.

3. Além de auxiliar no traçado de máscaras de sombra, o transferidor de ângulos também pode ser utilizado para determinar as dimensões de uma proteção solar. Nesse sentido, o quadro a seguir aponta os ângulos do transferidor e sua aplicação no dimensionamento de proteções externas, mas de forma desorganizada.

Ângulo	Função
I – β	A – Encontrar o comprimento de um brise horizontal.
II – α	B – Determinar a largura de um brise horizontal.
III – γ	C – Dimensionar o comprimento de um brise vertical.

Qual alternativa relaciona corretamente o ângulo com sua respectiva função?

- a) I – A; II – C; III – B.
- b) I – A; II – B; III – C.
- c) I – C; II – A; III – B.
- d) I – C; II – B; III – A.
- e) I – B; II – A; III – C.

Referências

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4. ed. Maceió: EDUFAL, 2004.

DELAQUA, Victor. Cobogós: breve história e usos. **ArchDaily**, 9 jun. 2015. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/768101/cobogo>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

LABEE. **Analysis SOL-AR**. Versão 6.2. Florianópolis: LabEEE, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 4 abr. 2018.

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

RORIZ BIOCLIMÁTICA. **Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros**. 2012. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: 7 out. 2015.

ISBN 978-85-522-0664-4



9 788552 206644 >