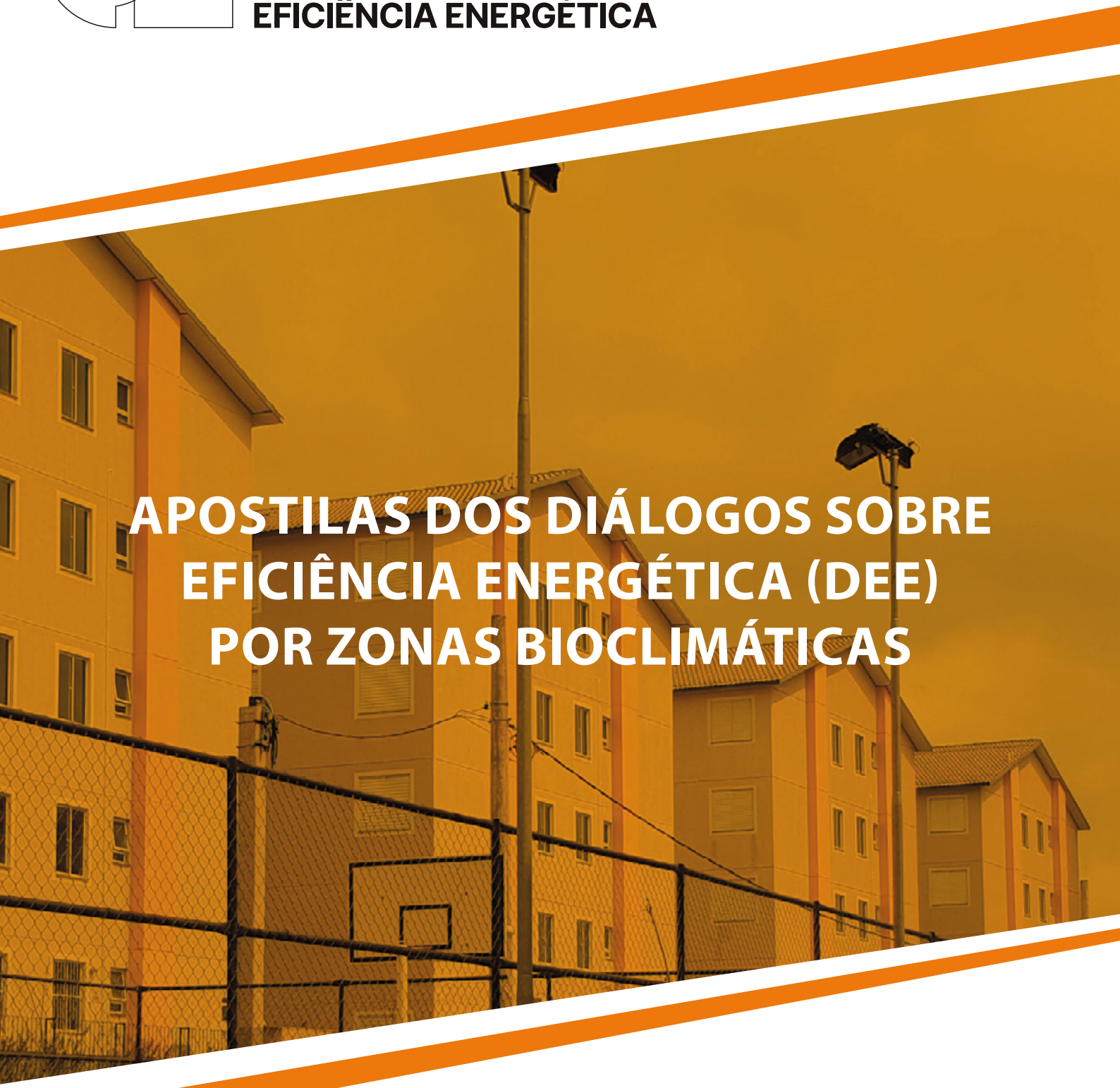
DIÁLOGOS SOBRE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

EEDUS



APOSTILAS DOS DIÁLOGOS SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (DEE) POR ZONAS BIOCLIMÁTICAS

cooperação alemã
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Por meio da:

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

EEDUS
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL

SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Esta apostila é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por Zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

SUMÁRIO

1.

Zonas Bioclimáticas 01 e 02: Suas peculiaridades em um país predominantemente tropical e seus impactos na aplicação e regulamentação em projetos de HIS 5

1.1 Introdução 6
1.2 Entrando no clima 8
1.3 Zoneamento bioclimático 12
1.4 NBR 15.220 - Parte 3 13
1.5 Estratégias bioclimáticas 16
1.5.1 Implantação 16
1.5.2 Zoneamento de usos 18
1.5.3 Localização e tamanho das aberturas 19
1.5.4 Especificação do envelope 22
1.5.5 Detalhamento de estratégias 26
1.6 Conclusão 27

2.

Zona Bioclimática 03: Sua impotância e aplicação na prática de forma regionalizada 29

2.1Caracterização da Zona Bioclimática 3 30
2.2 Estratégias bioclimáticas indicadas à ZB 3 33
2.3 A NBR 15.575 e RTQ-R – prescrições para componentes construtivos 35
2.4 Discussões sobre impactos nos custos dos projetos 38
2.5 Conclusões 39

3.

Zona Bioclimática 04: Conceitos, aplicação e regulamentação em projetos de Habitação de Interesse Social (HIS) 41

3.1 Apresentação da Zona Bioclimática 04 e clima da região 42
3.2 Estratégias bioclimáticas e de condicionamento térmico para a zona bioclimática 04 45
3.3 A aplicação dos conceitos de condicionamento térmico para a ZB 4 em concursos de projeto para HIS 50
3.4 Possível impacto financeiro em construção considerando as diretrizes de ZB em HIS 55
3.5 À guisa de conclusão 57

4.

Zonas Bioclimáticas 05 e 06: Sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS 60

4.1 As zonas bioclimáticas 5 e 6 de acordo com a NBR 15.220-3: 2005 61
4.2 O consumo de energia residencial 64
4.3 A NBR 15.575 e RTQ-R - Prescrições para componentes construtivos 67
4.4 Conclusão 71

Sumário clicável

5.

Zonas Bioclimáticas 07: Sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS 73

5.1 Introdução - Eficiência energética e conforto ambiental no projeto de Habitação de Interesse Social 74

5.2 Onde fica a Zona Bioclimática 07? 76

5.3 "Quem" faz parte da Zona Bioclimática 07? 79

5.4 Adaptando a arquitetura ao clima na ZB 07 80

5.5 Normativas de zoneamento bioclimático e custos na habitação de interesse social: Possíveis impactos no projeto e na construção 84

5.6 Concluindo 86

6.

Zonas Bioclimáricas 08 - Desempenho térmico de habitações: Recomendações bioclimáticas e projetuais para HIS na ZBB nordestina 89

6.1 Climas 90

6.2 Estratégia bioclimática & recursos arquitetônicos 93

6.3 Impacto das estratégias bioclimáticas 97

6.4 Recomendações 101

6.5 Contraindicações 101

6.6 Considerações finais 102

7.

NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações 104

7.1 NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações 105

7.1.1 Parte 1: Definições, símbolos e unidades 105

7.1.2 Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações 105

7.1.3 Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social 106

7.1.3.1 Revisão zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas 108

7.1.4 Parte 4 e 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e pelo métido fluxométrico 109

7.1.5 Revisão da NBR 15220 e a revisão dos capítulos de desempenho térmico da NBR 15575 110

Sumário clicável

1.

Zonas Bioclimáticas 01 e 02:

Suas peculiaridades em um país predominantemente tropical e seus impactos na aplicação e regulamentação em projetos de HIS

Antonio César Silveira Baptista da Silva, Doutor em Engenharia Civil (PPGEC/UFSC, 2004), Professor Titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Coordenador do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) e do Laboratório De Inspeção de Eficiência Energética em Edificações (LINSE), Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), junto ao CGCRE do INMETRO, para emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nas Edificações (PBE-EDIFICA).

Objetivo do curso:
Demonstrar as peculiaridades da adequação arquitetônica às condições de calor e frio extremo, das ZB 01 e 02, especialmente quando se refere aplicação dos conceitos e regulamentações dos projetos de HIS, enfatizando seus reflexos na eficiência e no conforto humano.

INTRODUÇÃO 1.1

As Zonas Bioclimáticas 1 e 2 proporcionalmente são as que menos ocupam área no território nacional, respectivamente 0,8% e 6,4%, conforme a NBR 15.220-3:2005 que trata do Desempenho térmico de edificações em sua Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT,2005).

Entretanto, estas Zonas Bioclimáticas enfrentam situações climáticas estranhas a maior parte do território brasileiro. As populações que vivem nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2 estão sujeitas ao rigor do inverno, que conduz, não raramente, a temperaturas abaixo de zero graus.

Nas ZB1 e ZB2 habitam cerca de 30 milhões de brasileiros, predominantemente, na Região Sul e alguns locais de elevada altitude da Região Sudeste. São cidadãos que enfrentam condições ambientais rigorosas sem, na maioria das vezes, dispor de edificações adequadas e de condições econômicas adequadas.

A arquitetura tem por premissa o fornecimento de abrigo e proteção. Abrigo ao frio, ao calor, a neve, ao vento, a chuva... A edificação que não cumpre com seus pressupostos básicos e fundamentais fere sua razão de ser e fere a dignidade do ser humano. Neste contexto, destaca-se a importância das regulamentações de desempenho e qualidade das edificações, sobretudo daquelas que atendem às camadas mais baixas da população.

As Habitações de Interesse Social (HIS) são iniciativas do Estado na intenção de atender à população que não consegue, diante de sua condição econômica, sem suporte estatal, adquirir um imóvel próprio e digno para viver com suas famílias. O Estado, com suporte de especialistas, elabora as regulamentações que definem os quesitos e os critérios de qualidade e desempenho das edificações. Cabe ao cidadão confiar no Estado e nos especialistas. Observemos, então, a responsabilidade dos legisladores e dos especialistas que irão definir as condições de dignidade das habitações de milhões de brasileiros.

Quando nos debruçamos sobre as Zonas Bioclimáticas 1 e 2, com o tema específico das HIS, nos deparamos ainda mais com a importância das questões de qualidade e desempenho. Por não representar nem 8% do território nacional, predominantemente tropical, os aspectos específicos destas zonas costumam ser desprestigiados pelas regulamentações e pela indústria da construção.

Programas habitacionais de abrangência nacional costumam desconsiderar as peculiaridades climáticas destas regiões, condenando justamente os mais necessitados a habitar edificações despreparadas a enfrentar o frio.

Pior quando estes programas encontram respaldo em regulamentações que ainda deixam a desejar quanto ao estabelecimento de requisitos e critérios para proteger as pessoas do frio das ZB1 e ZB2. A NBR 15.575:2013 (ABNT, 2013) no que se refere aos critérios de aprovação de desempenho por meio de simulação é um infeliz exemplo de descompromisso para com as populações das ZB1 e ZB2, conforme diversas publicações que versam sobre este tema (Sorgato *et al.*,2012; Sorgato, Melo e Lamberts, 2013, Soares, 2014; Soares e Silva, 2017).

Para que possamos ter uma ideia, conforme aqueles critérios para alcançar nível mínimo de aprovação diante dos critérios de avaliação de desempenho térmico para as condições de inverno, basta que a temperatura interna mínima esteja 3°C acima da temperatura mínima externa. Considerando que a temperatura mínima externa de projeto, para a cidade de Curitiba, PR (ZB1), especificada pela NBR 15.575:2013, seja de 0,7°C basta obter uma temperatura interna de 3,7°C para que esta edificação seja aprovada. Imaginemos agora uma família de baixa renda em uma edificação que está a 3,7°C, entregue pelo Estado e validada pela regulamentação vigente. Questões como estas, além ferir a dignidade humana, desestimulam a indústria da construção a buscar soluções e opções para problemas reais.

Esquadrias de baixa estanqueidade, que pouco ou nenhum impacto teriam em regiões tropicais, são grandes responsáveis pelo desconforto térmico durante o inverno nas ZB1 e ZB2. Ações comunitárias recobrem os barracos da população mais pobre com caixas Tetrapak para que estas possam enfrentar o período de inverno com menos infiltração e um pouco de dignidade (Figura 1). Legisladores e especialistas devem considerar a vida real e quais as reais necessidades da população.

Figura 1 – Barracos sendo recobertos com Tetrapak para enfrentar o frio de Pelotas, RS (ZB2)

Fonte: Garagem Solidária

https://www.facebook.com/search/top?q=garagem%20solid%C3%A1ria%20pelotas

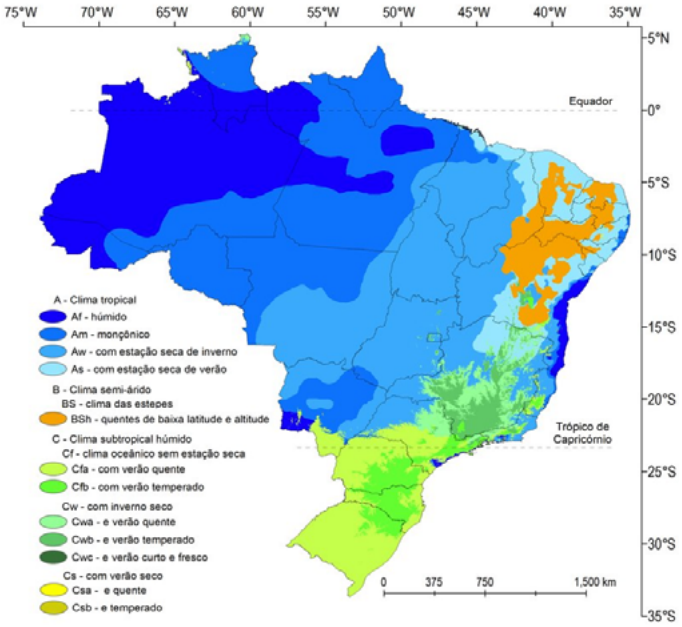
Apesar do destaque ao frio, a Zona Bioclimática 2 enfrenta também rigor do verão quente e úmido, cuja combinação desafia as melhores estratégias da arquitetura bioclimática para manter as condições mínimas de conforto ao longo do ano.

Neste estudo vamos entender esta dualidade climática e refletir sobre as medidas que poderiam ser tomadas para preservar a saúde e a dignidade destas populações.

ENTRANDO NO CLIMA 1.2

Segundo NIMER (1989), na Região Sul, ao contrário das demais regiões brasileiras, há o domínio exclusivo do *clima mesotérmico do tipo temperado*. Conforme a classificação de Köppen-Geiger, nesta região do país predomina o clima subtropical úmido, com verão quente, associado às baixas altitudes, e verão temperado, associado às maiores altitudes (Figura 2).

Figura 2 - Mapa climático do Brasil de acordo com a classificação climática de Köppen.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Clima_do_Brasil

Situada quase que na totalidade abaixo do Trópico de Capricórnio, as estações são bastante nítidas, regidas pela posição do Sol em relação à Terra.

Pela sua posição, compreendida nas latitudes médias na borda do Oceano Atlântico, a Região Sul do Brasil é atingida pelos *centros de ação* (de alta e baixa pressão) das latitudes baixas e das latitudes altas. Como descreve NIMER (1989), o caráter temperado do clima do Sul do Brasil confere a esta região uma notável oscilação térmica ao longo do ano.

Apesar de situar-se quase que totalmente no interior da zona temperada, o verão é bastante quente, pois durante o solstício de verão os raios solares incidem com pequena inclinação, além de, nesta época, os dias serem muito mais longos do que as noites, aumentando o tempo diurno de radiação. Durante o verão observa-se a influência quase que insignificante da latitude como fator de distribuição térmica. Esta inibição da latitude se dá por que, à medida que aumenta a latitude, além de aumentar a inclinação dos raios solares, também aumenta a duração dos dias em relação às noites. Deste modo, cabe, quase que exclusivamente, ao relevo o controle da distribuição geográfica da temperatura durante o verão. Durante o solstício de verão o dia tem em média 14 horas de duração, com alta incidência de radiação ao longo do dia, fazendo que as temperaturas sejam bastante elevadas.

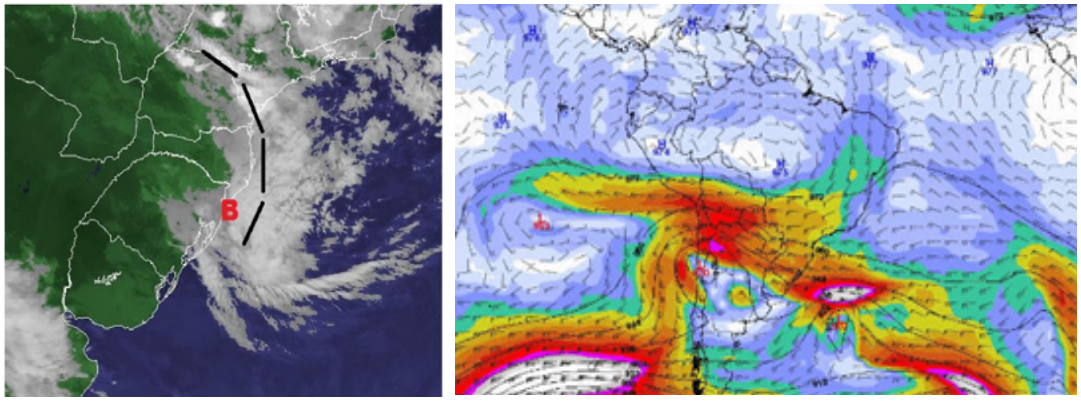
O inverno é uma estação bastante fria, sofrendo intensas e sucessivas *invasões de frentes* polares, que trazem abundantes chuvas sucedidas por *massas polares*. Os meses de junho e julho são os mais representativos do inverno, pelo considerável aumento da duração da noite em detrimento das horas de radiação diurna e pela maior participação da circulação atmosférica de origem circumpolar [NIMER,1989]. Nesta época do ano a distribuição das temperaturas é determinada pela maritimidade, latitude e relevo.

Ao contrário do que se sucede no verão, quando a altitude do relevo é o fator de absoluta importância, no inverno a latitude e a maritimidade dividem destaque com o relevo na distribuição geográfica das temperaturas de inverno. Durante o solstício de inverno o dia tem apenas 10 hs de duração, com baixa incidência no plano horizontal, fazendo com que o inverno seja rigoroso. Nesta época do ano a superfície vertical norte recebe mais radiação do que o plano horizontal.

Com o polo sul completamente encoberto dos raios solares, aumenta a diferença de temperatura e pressão entre o polo e o Equador, o que resulta no progresso das frentes polares, acompanhada de fortes ventos do quadrante sul. Neste caso, a temperatura e umidade caem rapidamente, deixando o céu límpido, que durante o dia permite ampla incidência de radiação solar, mas que durante a noite, devido à baixa umidade e nebulosidade permite grandes perdas para a atmosfera.

Por ser uma região normalmente de alta umidade relativa, dado a proximidade do mar e lagunas, não há grandes variações de temperatura ao logo do dia ou do mês, que não costuma ultrapassar os 10°C, principalmente nas regiões mais litorâneas, exceto devido a fatores dinâmicos da atmosfera, exemplificados na Figura 3.

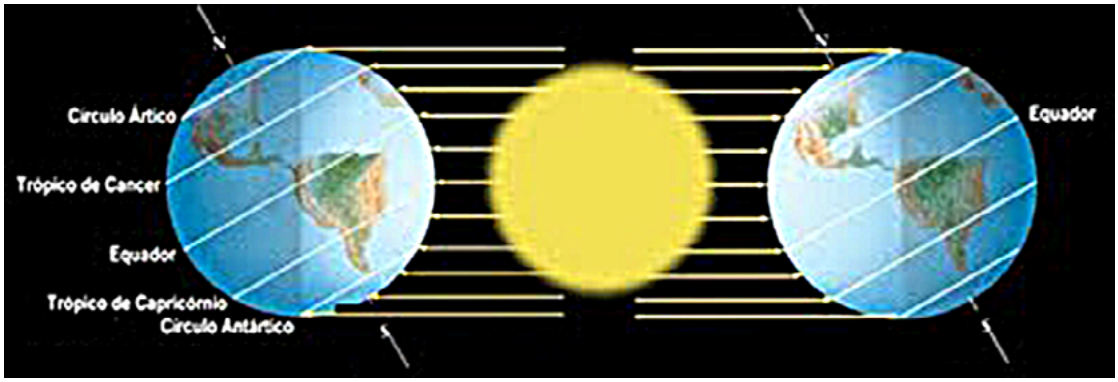
Figura 3 – Frentes dinâmicas na atmosfera



Fonte: Desconhecida

Quando há nebulosidade, a água contida na atmosfera armazena calor e a nebulosidade evita grande emissões de radiação para o espaço. Nestas condições há muito pouca amplitude térmica diária (cerca de 5°C) e as temperaturas ficam entre os 15°C durante o dia e os 10°C durante a noite. Na Figura 4, pode-se observar a variação da duração do dia e da noite em função da latitude e dos solstícios de verão e inverno, que faz com que a amplitude anual fique na ordem dos 20°C.

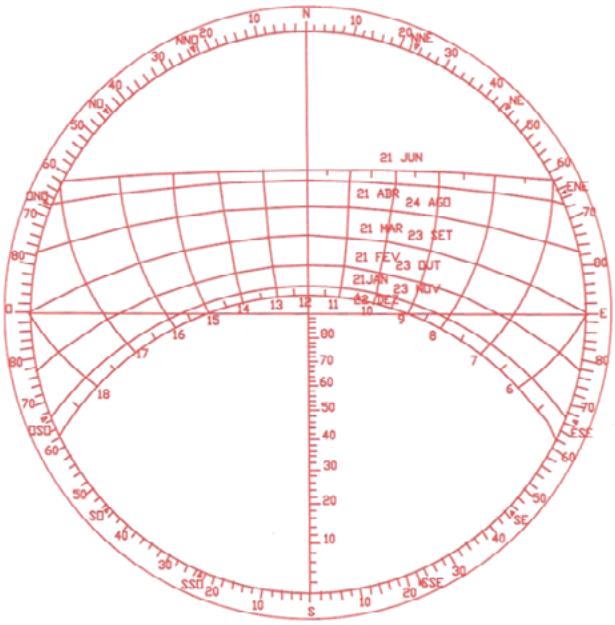
Figura 4 – Incidência de radiação solar nos hemisférios nos solstícios de junho e dezembro



Fonte: Desconhecida

Na Figura 5 tem-se a carta solar da Latitude 30°S, na qual pode-se observar a diferentes trajetórias aparentes do Sol e a acentuada diferença entre a duração da trajetória de dezembro em relação à trajetória de junho.

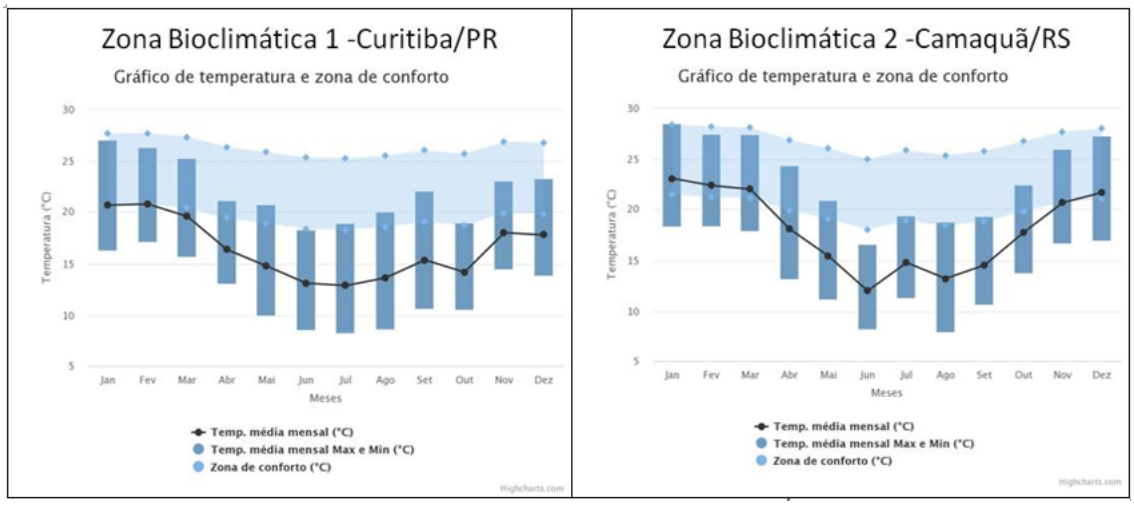
Figura 5 – Carta solar da latitude 30°S



Fonte: Autor

As cidades desta região possuem grande variação sazonal, com verões quentes e invernos frios. As cidades de maior altitude têm as condições de verão atenuadas e estão, em sua maioria, classificadas na ZB1. Praticamente esta é a única diferença entres as Zonas Bioclimáticas 1 e 2, como pode ser observado na Figura 6, que compara a cidade de Curitiba, PR (ZB1) e Camaquã, RS (ZB2).

Figura 6 – Comparação entre as temperaturas de cidades da ZB1 e ZB2.



Fonte: http://projeteee.mma.gov.br/

Através da Figura 6, pode-se observar claramente que a amplitude mensal de ambas as cidades fica ao redor dos 10°C, enquanto a amplitude anual fica ao redor dos 20°C.

Frente às baixas temperaturas de inverno, ambas as zonas bioclimáticas necessitam muito da incidência de radiação solar para minimizar o desconforto térmico. O quadrante norte apresenta as maiores intensidades de radiação solar durante o inverno e as menores durante o verão. Justamente o que é desejável para obter as condições de conforto em ambas as estações.

Antes de seguirmos adiante, ainda com relação à Figura 6, cabe salientar que os valores apresentados se referem a médias, médias das máximas e média das mínimas. Naturalmente as médias não representam a variação da amostra. Além disso, há de se considerar que as estações meteorológicas de modo geral, localizam longe das zonas densamente povoadas e não raro em áreas pouco edificadas e até rurais. Ou seja, não capturam os efeitos das ilhas de calor urbano gerado a partir da urbanização, pavimentação, supressão de vegetação e ampla edificação do espaço físico. Desta forma, a população que mora em Curitiba, PR, pode discordar com toda razão dos dados apresentados na Figura 6, que apresenta condições confortáveis durante o verão.

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

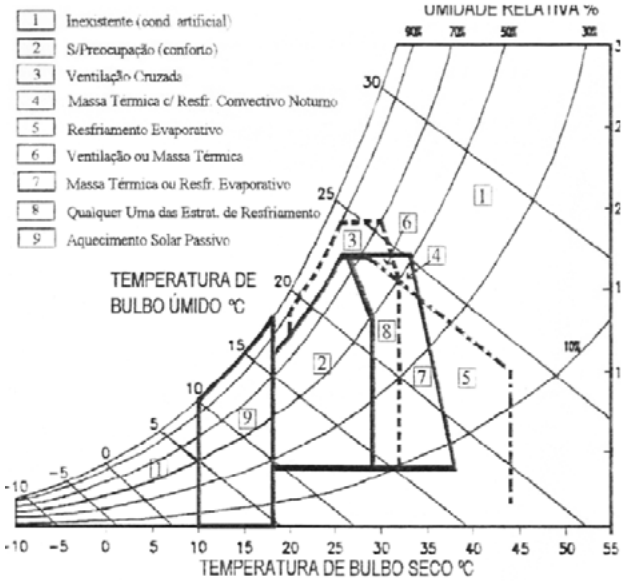
1.3

Quando o estudo do clima refere-se à relação destes elementos com os seres vivos denomina-se **Bioclimatologia**, dividindo-se em bioclimatologia humana, animal e vegetal (Silva, 1994). Assim, quando se fala em "zoneamento bioclimático" na área da construção civil o foco está nas respostas psico-fisiológicas do ser humano aos elementos climatológicos incidentes e a resposta que deva ser dada pela edificação. Assim, o Zoneamento Bioclimático para fins de edificações visa estabelecer facilmente a relação entre o clima e as estratégias bioclimáticas a serem adotadas pelo projeto arquitetônico.

O primeiro Zoneamento bioclimático brasileiro com este fim, foi desenvolvido por Silva (1994), cuja metodologia utilizou as estratégias da Carta Bioclimática de Givoni (1992) e estudos de aquecimento passivo de EVANS (1993) como critérios, normais climatológicas de 204 cidades com interpolação através de algoritmo de interpolação ótima em covariância espacial (krigagem) e Sistemas Geográficos de Informações (SGI) para cruzamento de imagens.

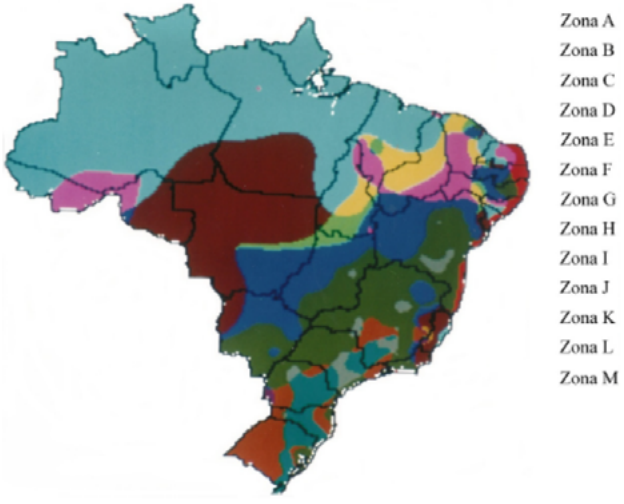
Silva (1994) verificou que a zona de conforto estabelecida por Givoni (1992) atendia às necessidades de conforto de 80% das pessoas, ao comparar com os estudos do PMV de Fanger (1972). A Figura 7 apresenta as estratégias combinadas de Givoni (1992) e Evans (1993) sobre a carta psicrométrica. Silva (1994) obteve 13 zonas bioclimáticas identificadas por letras, conforme a Figura 8.

Figura 7 – Limites de aplicabilidade de estratégias bioclimáticas em países em desenvolvimento



Fonte: Silva (1994)

Figura 8 – Primeiro Zoneamento Bioclimático de Edificações



Fonte: Silva (1994)

Esta metodologia inspirou o zoneamento da NBR 15.220, que veremos a seguir.

NBR 15.220 – PARTE 3

1.4

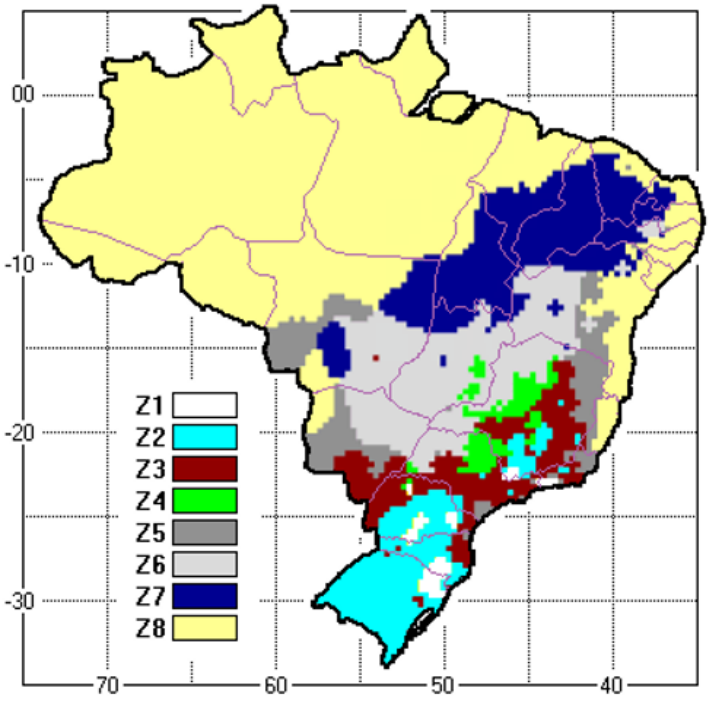
A NBR 15.220-3:2005 que trata do Desempenho térmico de edificações em sua Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT,2005).

A exemplo de Silva (1994), o ZB da NBR 15.220 também tem por princípio o Diagrama Bioclimático de Givoni (1992), que é específico para estratégias bioclimáticas para habitações residenciais, o zoneamento também é válido apenas para edificações residenciais. O uso deste zoneamento para outros fins, fere os princípios básicos estabelecidos por Givoni (1992) como a zona de conforto e a eficiência de estratégias.

Algumas críticas direcionadas ao zoneamento da NBR 15.220 acabam por ser direcionadas ao trabalho de Givoni (1992). Entretanto, um zoneamento bioclimático envolve não somente os critérios de avaliação, mas também e, essencialmente, os métodos de interpolação de dados.

Ao contrário de Silva (1994), não foi usado um método estatístico de interpolação espacial de dados, mas um método de células (6500 celulas) que recebiam peso 4, se estavam sobre um ponto com dados ou peso 1, se não continham informações. As informações eram os dados de normais climatológicas de 330 cidades. Além, de maior disponibilidade de dados, neste momento já era de conhecimento que o conteúdo de umidade variava com as temperaturas média das mínimas e média das máximas (Lamberts *et al.* (1997). Ao que parece as críticas têm como origem este método de interpolação, pois Roriz (2012), na proposta do novo zoneamento bioclimático, adotou exatamente a mesma metodologia de interpolação de Silva (1994). Como resultado, o território brasileiro foi dividido em oito zonas bioclimáticas, conforme Figura 9, das quais nos dedicaremos as zonas 01 e 02.

Figura 9 - Zoneamento bioclimático da NBR 15.220_3



Fonte: ZBBR - https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr

A partir da Carta Bioclimática adaptada a partir da sugerida por Givoni (1992) foram estabelecidas as estratégias bioclimáticas e, na sequencia, as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Figura 10 – Carta Bioclimática com as normais climatológicas para a cidade de Caxias, RS – ZB1

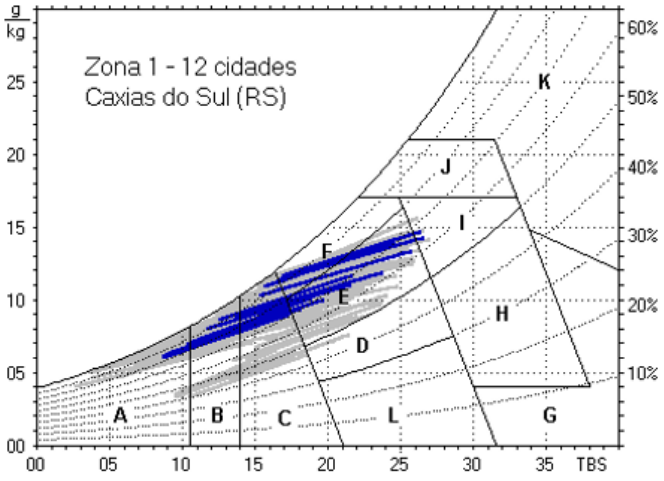
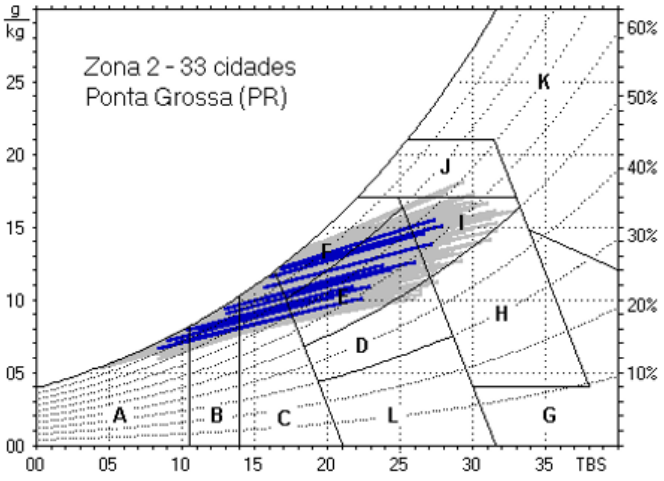


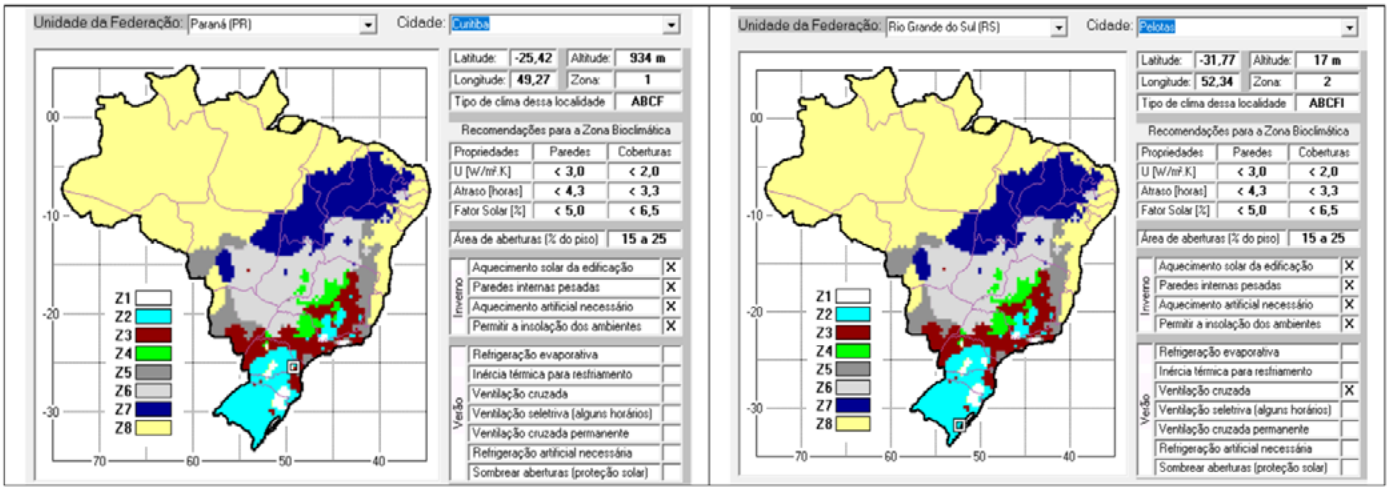
Figura 11 – Carta Bioclimática com as normais climatológicas para a cidade de Ponta Grossa, PR, ZB2



Fonte: NBR15.220-3 (ABNT, 2005)

A partir da análise das figuras 10 e 11, se pode verificar que estas são muito semelhantes com relação ao frio, com ênfase ao desconforto por calor na ZB2. Na Figura 12, pode-se comparar as estratégias bioclimáticas e as diretrizes construtivas destas duas zonas.

Figura 12 – Comparação de diretrizes construtivas e estratégias bioclimáticas para ZB1 e ZB2.



Fonte: Programa ZBBR

Observa-se que as diretrizes construtivas são exatamente as mesmas e que as estratégias bioclimáticas só se diferem pela necessidade de ventilação cruzada na zona bioclimática 2. Como já comentado e justificado anteriormente, dificilmente as cidades da ZB1 não terão ao longo do ano, situações que necessitam de ventilação cruzada. Sendo assim, focaremos nossas análises na ZB2 que já abrange as estratégias da ZB1.

Para ambas as regiões, as principais estratégias são representadas pelas letras: A- Zona de aquecimento artificial; B - Zona de aquecimento solar da edificação; C – Zona de massa térmica para aquecimento; F- Zona de desumidificação (renovação do ar); e I + J – Zona de ventilação, para a ZB2.

Quanto às diretrizes construtivas, ambas apresentam as seguintes indicações, representadas no Quadro 1, referenciando as Tabelas C.1 e C.2 do Anexo C da NBR 15.220-3.

Quadro 1 – Características construtivas de aberturas e vedações externas para ZB1 e ZB2

Tabela C.1 - Aberturas para ventilação

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

Tabela C.2 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m²K	Atraso térmico - φ Horas	Fator solar - FS_o %
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	φ ≤ 4,3	FS_o ≤ 6,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	φ ≤ 4,3	FS_o ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	φ ≥ 6,5	FS_o ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	φ ≤ 3,3	FS_o ≤ 6,5
	Leve refletora	U ≤ 2,30.FT	φ ≤ 3,3	FS_o ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	φ ≥ 6,5	FS_o ≤ 6,5

NOTAS
1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02:135.07-001/2)
2 As aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).
3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.
4 O termo "ático" refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

A NBR 15220-3 descreve as estratégias bioclimáticas conforme Quadro 2, destacadas aquelas pertinentes às Zonas 1 e 2.

Quadro 2 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: adaptado de NBR 15.220 (ABNT, 2005)

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS 1.5

Quando se trata de edificações residenciais, as estratégias passivas ganham importância, sobretudo em climas nos quais predomina o frio, pois no período da noite encontramos as menores temperaturas, quando os usuários estão com baixa atividade metabólica e buscando recuperar as energias para o dia seguinte. Passar frio a noite é extremamente desgastante para a saúde física e mental das pessoas.

Apesar da complexidade do clima temperado, é possível alcançar bons níveis de conforto térmico utilizando estratégias passivas, minimizando a necessidade de refrigeração e aquecimento artificial.

O primeiro passo é um projeto integrado que tenha como premissa o conforto e a eficiência energética desde o princípio. As primeiras decisões definem grande parte do desempenho da edificação, num momento que existem poucas restrições e um amplo leque de possibilidades, muitas sem envolver custos extras.

Em zonas temperadas, os princípios das estratégias para verão e inverno podem ser facilmente resumidas conforme Figura 13.

Figura 13 – Princípios das estratégias de verão e inverno

VERÃO	INVERNO
1. Diminuir os ganhos de calor 1.1. Diminuir absorção de radiação solar 1.2. Sombrear e proteger aberturas 1.3. Aumentar isolamento do envelope **2. Aumentar as perdas de calor** 2.1. Ventilar em horas apropriadas	**1. Aumentar os ganhos de calor** 1.1. Aumentar absorção de radiação solar 1.2. Armazenar calor para a noite **2. Diminuir as perdas de calor** 2.1. Diminuir infiltrações de ar 2.2. Aumentar isolamento do envelope

Fonte: Autor

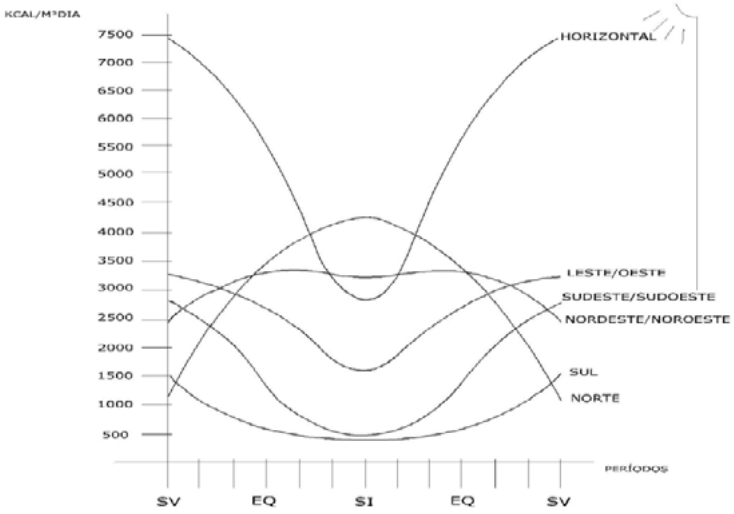
Os tópicos a serem destacados no processo de projeto para obter o máximo desempenho da edificação são os seguintes:

1- Implantação da edificação
2- Zoneamento de usos
3- Localização e tamanho das aberturas
4- Especificação do envelope
5- Detalhamento de estratégias (cálculos e dimensionamentos)

1.5.1 Implantação

Como comentado anteriormente, o quadrante norte é o mais adequado, tanto no inverno, quanto no verão. A Figura 14 apresenta um gráfico de distribuição de radiação solar global por orientação para a cidade de Pelotas, RS (ZB2), ao longo do ano (Solstício de Verão, Equinócios e Solstício de Inverno).

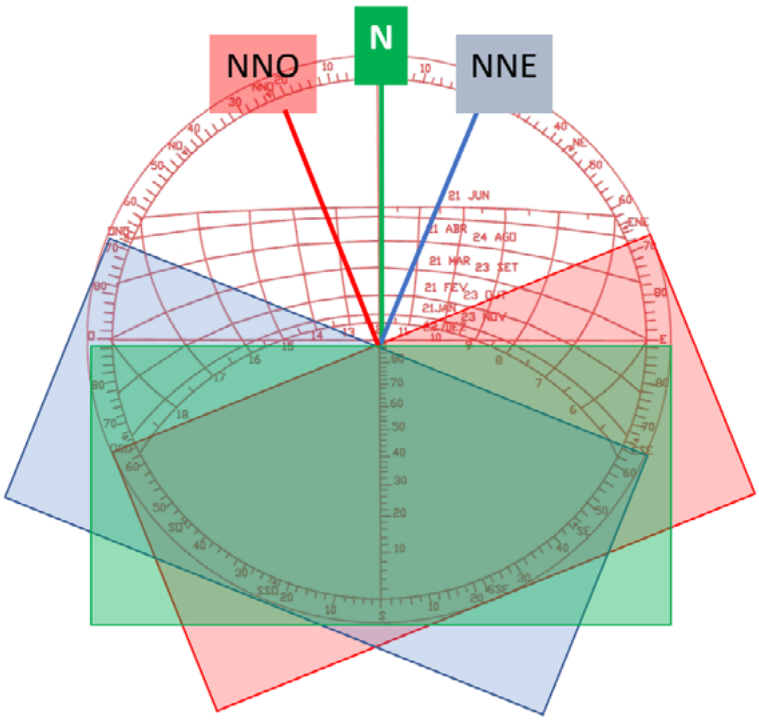
Figura 14 – Diagrama de radiações solares em planos verticais e horizontal em kcal/m²/dia



Fonte: Adaptado de Prietto (1987)

Assim a melhor implantação é aquela que apresenta maior face entre as orientações NNO e NNE, conforme Figura 15

Figura 15 – Melhores orientações para implantação

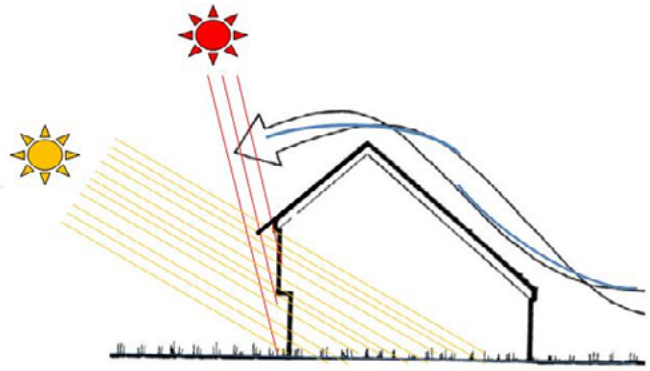


Fonte: Autor

Logicamente a melhor orientação é a Norte, mas tanto NNE quanto a NNO aproveitam grande parte das trajetórias de inverno. Para NNO já se recomenda um estudo quanto à necessidade de sombreamento das aberturas e a utilização de cores mais claras, pois no verão toda a fachada estará exposta durante a tarde. Implantação para o NO já exigirá medidas de sombreamento para período de verão.

Pode parecer lógico que, quando se projeta maior face para o quadrante norte, também se cria a correspondente para o quadrante sul. Porém, há algumas alternativas de ampliar a área no quadrante norte sem ampliar a área de fachada no quadrante sul, como demonstrado na Figura 16.

Figura 16 – Otimização da fachada norte em relação à fachada sul



Fonte: Autor

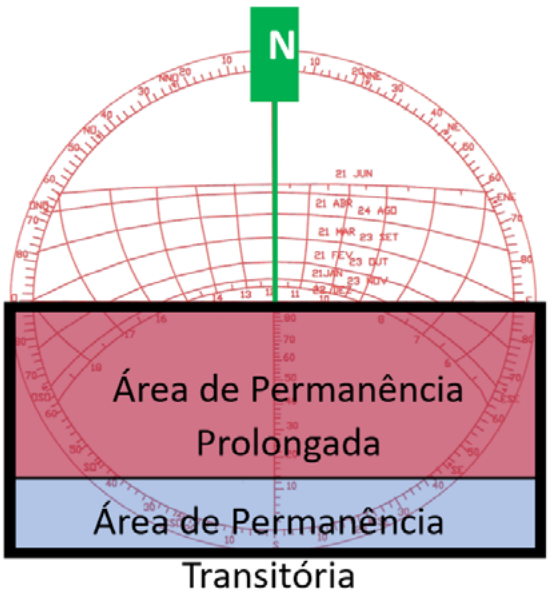
Com relação a Figura 16, destacamos que é bem mais fácil isolar a cobertura do que as paredes. Portanto, apesar de ampliar a área de cobertura voltada par o sul, esta configuração traz vantagens ao bom desempenho do projeto.

Após tirar o máximo partido da implantação, o projetista tem grandes possibilidades de aproveitar o quadrante norte para a próxima fase: zoneamento de usos.

1.5.2 Zoneamento de usos

Nesta fase o projetista, partindo de uma correta implantação, estabelece as prioridades dos compartimentos de permanência prolongada sobre os de permanência transitória. Em uma habitação os ambientes de permanência prolongada são os dormitórios, escritório e sala de estar, priorizando os primeiros. Como transitórios incluem-se circulações, banheiros, dispensas e áreas de serviço. A Figura 17 exemplifica um zoneamento de usos. Nesta figura pode-se observar que a área de permanência transitória ajuda a proteger a área de permanência prolongada, do ambiente externo.

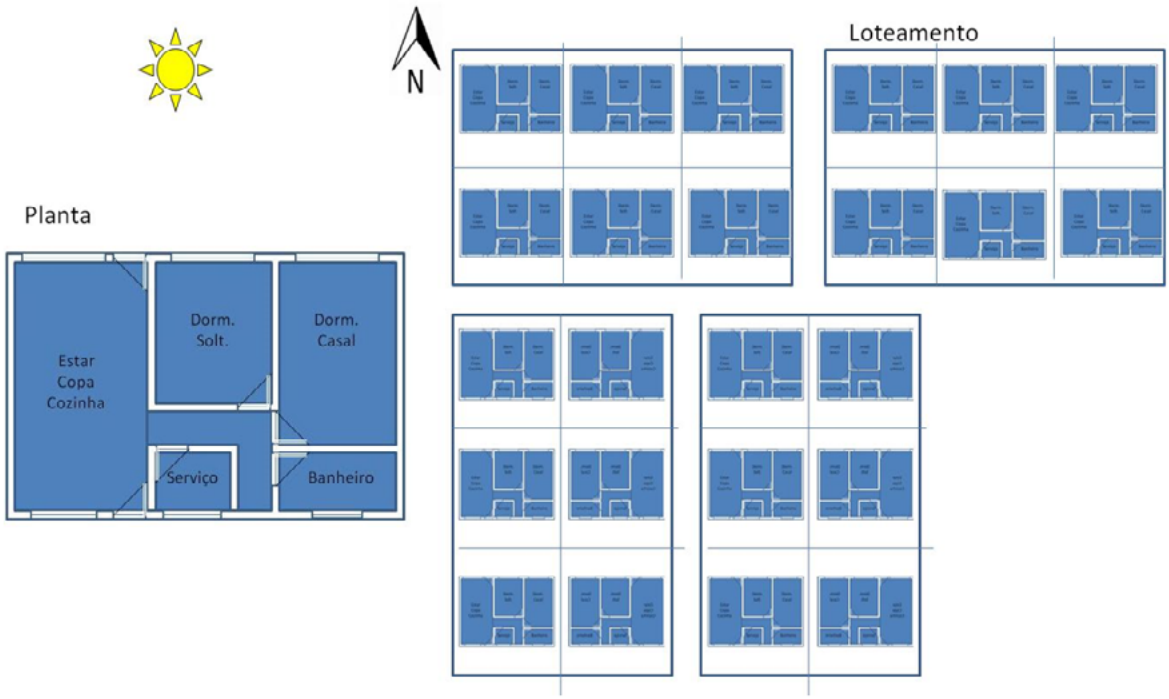
Figura 17 – Zoneamento de usos



Fonte: Autor

No caso de HIS, em grandes loteamentos, é aconselhável que o lançamento do mesmo favoreça a implantação nas melhores orientações. Outra coisa importante é que a planta da edificação permita adaptações simples, tal como inverter acessos em função de diferentes configurações. A Figura 18 demonstra um exemplo de compatibilização entre planta e implantação.

Figura 18 – Compatibilidade entre planta e implantação



Fonte: Autor

Observe que a planta permite que a posição do estar e copa cozinha sejam definidas em função do lado de acesso da via, sem alterar a orientação dos dormitórios que permanecem pra o quadrante norte. Ou seja, se no projeto os dormitórios possuem a mesma orientação solar das aberturas, fica mais fácil otimizar o desempenho da edificação.

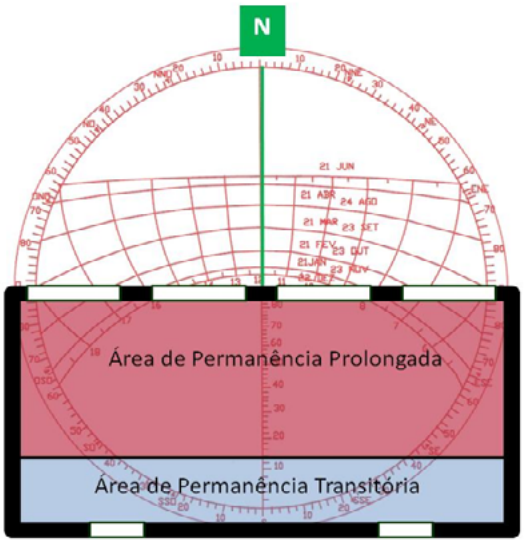
1.5.3 Localização e tamanho das aberturas

Nesta fase do projeto o projetista define não somente a localização e tamanho das aberturas, mas todas as principais características das mesmas. As principais estratégias bioclimáticas das zonas bioclimáticas 1 e 2 estão vinculadas às aberturas: aquecimento solar passivo e ventilação cruzada. Desta forma, esta fase do projeto é essencial para um bom desempenho da edificação.

Como a radiação solar está disponível no quadrante norte, as aberturas nesta orientação podem ser maiores do que nas demais. Para obter ventilação cruzada é importante aberturas em outras orientações, porém em tamanhos menores.

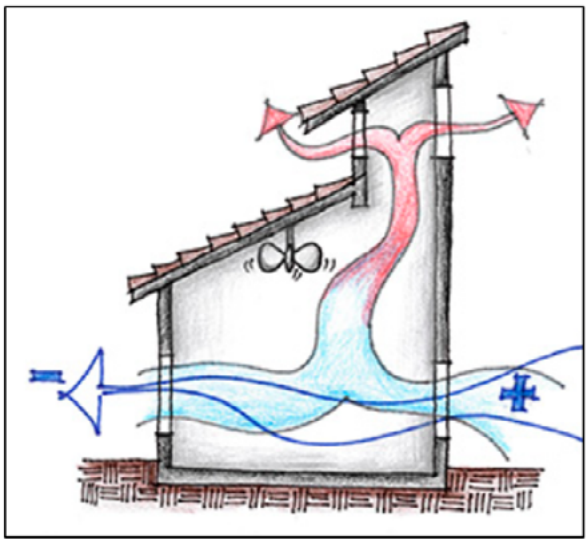
A Figura 19 demonstra um esquema de uma planta associando implantação, zoneamento de usos e posição e dimensionamento de aberturas. A Figura 20, uso de aberturas altas para possibilitar ventilação por diferença de altura

Figura 19 – Orientação de aberturas



Fonte: Autor

Figura 20 – Aberturas para ventilação



Fonte: http://projeteee.mma.gov.br

Um exemplo prático pode ser visto na Figura 21, com relação a um projeto adaptado a partir do projeto desenvolvido por Pouey (2011) para se adequar ao clima da ZB2.

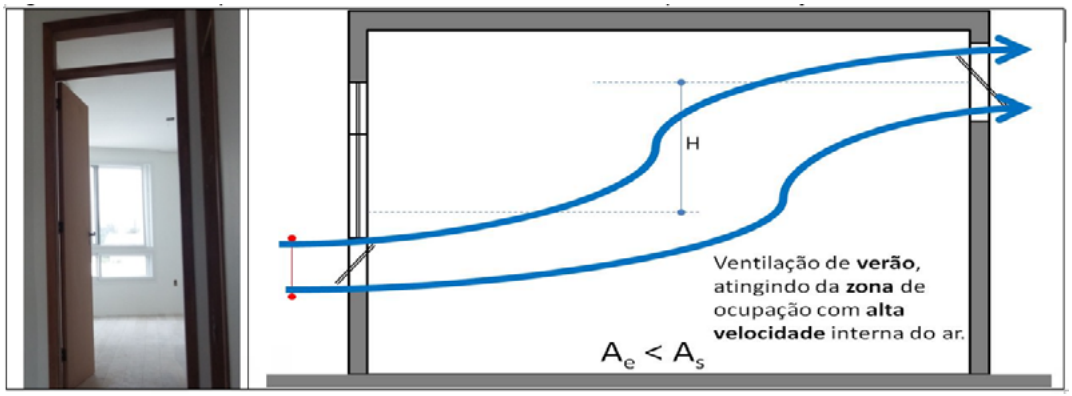
Figura 21 – Casa Bioclimática

Fonte: Autor

Na Figura 21 pode-se obervar que as maiores aberturas se voltam para a orientação norte e que na fachada sul apenas pequenas aberturas para permitir iluminação e ventilação cruzada, inclusive por diferença de altura. Além disso, os dormitórios possuem peitoril ventilado e bandeiras sobre as portas. As bandeiras permitem a ventilação do dormitório, mesmo mantendo a porta fechada (Figura 22).

Devido a alta umidade relativa, no verão a ventilação cruzada deve atingir a zona de ocupação e o corpo dos usuários para promover perdas de calor por convecção e evaporação.

Figura 22 – Uso de peitoril ventilado associado a bandeiras para ventilação de dormitórios



Fonte: Autor

Se durante o verão a ventilação é essencial, no inverno uma simples infiltração poder ser desastrosa para o conforto das pessoas. Em um andar intermediário, com paredes em alvenaria, a infiltração pode responder por cerca de 70% das perdas de calor do ambiente. A estanqueidade é essencial para as edificações destas zonas bioclimáticas, independente do material dos caixilhos.

Salientamos que até o momento, todas as decisões não envolveram custos (implantação, zoneamento de usos, posicionamento das aberturas). Porém, nesta fase vale a pena investir na qualidade das aberturas. Infelizmente, são raras as aberturas vendidas no país que possuem informações de infiltração e resistência térmica de vidros e caixilhos.

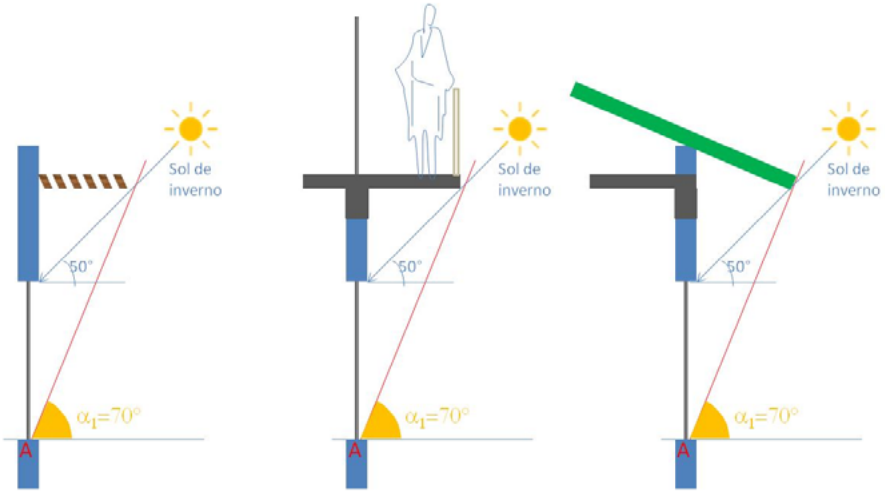
Evidentemente, como o vidro possui alta transmitância térmica, a melhor solução passa pelo vidro duplo insulado, o que certamente fere o orçamento de HIS. Habitações tradicionais da região adotavam o postigo, que consistia uma folha de madeira maciça colocada por dentro da folha de vidro. Durante o dia, o postigo ficava aberto para permitir o ingresso de radiação solar e ao entardecer este era fechado para manter o calor armazenado dentro do ambiente. Variações desta solução podem ser realizadas por venezianas com aletas móveis que possibilitam ventilação, sombreamento e quando fechadas, funcionam como um "postigo externo" reduzindo a incidência do vento frio nos vidros, as perdas por radiação e criando uma câmara de ar para resistir às trocas por condução. O uso de cortinas internas também favorece o desempenho das esquadrias durante as noites frias.

Uma solução acessível às HIS é a utilização de persianas plásticas (PVC), que quando fechadas realizam o mesmo efeito do postigo. Preferencialmente adotar persianas que avançam, gerando sombreamento e permitindo a ventilação. A Figura 23 reúne as soluções de vidro duplo (a), postigo (b), veneziana com aletas móveis (c) e persianas de PVC externas e com avanço para ventilação e sombreamento (d).

Figura 23 – Alternativas para reduzir as perdas de calor pelas aberturas no inverno

As proteções solares da fachada norte são muito fáceis projetar para sombrear no verão e permitir o ingresso do Sol no inverno. Um simples beiral corretamente projetado é suficiente para sombrear totalmente de outubro à fevereiro e permitir a ingresso total de sol de abril a agosto.

Figura 24 – Sombreamento para o quadrante norte



Fonte: Autor

1.5.4 Especificação do envelope

O envelope da edificação consiste no conjunto de componentes que separam os ambientes interno e externo. Através do envelope da edificação ocorrem as trocas térmicas, cuja função é "filtrar" as condições adversas e potencializar as condições favoráveis ao conforto humano.

A NBR 15220 (ABNT, 2005), como já colocado no Quadro 1, apresenta alguns limites de valores de transmitância de paredes e coberturas, atraso térmico e fator solar de elementos opacos.

Já a NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta os valores do Quadro 3.

Quadro 3 – Requisitos da NBR 15.575 para ZB1 e ZB2

Tabela 11 — Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α [a] ≤ 0,6	α [a] > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

[a] α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

Tabela 12 — Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ/m².K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Tabela I.4 – Critérios e níveis de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U) W/m²K					
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 [1]		Nível de desempenho
U ≤ 2,3	α [1] ≤ 0,6	α [1] > 0,6	α [1] ≤ 0,4	α [1] > 0,4	M
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3 FV	U ≤ 1,5 FV	
U ≤ 1,5	α [1] ≤ 0,6	α [1] > 0,6	α [1] ≤ 0,4	α [1] > 0,4	I
	U ≤ 1,5	U ≤ 1,0	U ≤ 1,5 FV	U ≤ 1,0 FV	
U ≤ 1,0	α [1] ≤ 0,6	α [1] > 0,6	α [1] ≤ 0,4	α [1] > 0,4	S
	U ≤ 1,0	U ≤ 0,5	U ≤ 1,0 FV	U ≤ 0,5 FV	

[1] Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

NOTA O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2.

Fonte: Adaptado de ABNT (2013)

Oliveira (2012) avaliou os limites da NBR 15.220 (ABNT, 2005) para a ZB2 e Soares (2014) e Soares e Silva (2017) avaliaram os quesitos da NBR 15.575 (ABNT, 2013), por meio de simulação para uma HIS.

Oliveira (2012) concluiu que os limites estabelecidos pela NBR 15.220 proporcionam cerca de 70% de horas de conforto e verificou que o critério de atraso térmico não é um bom critério, pois impede soluções de melhores desempenhos.

Soares (2014) e Soares e Silva (2017) numa amostra de 300 simulações identificaram os 25% melhores resultados de desempenho no verão e no inverno e concluíram que os limites estabelecidos pela NBR 15.575, são adequados para a ZB2, que as cores claras de fachadas tiveram vantagens sobre as médias e escuras e que quanto menor a transmitância de paredes e coberturas melhor o desempenho da edificação. Os melhores resultados foram obtidos com transmitâncias de paredes e coberturas de 1,0 W/m^{2}K.

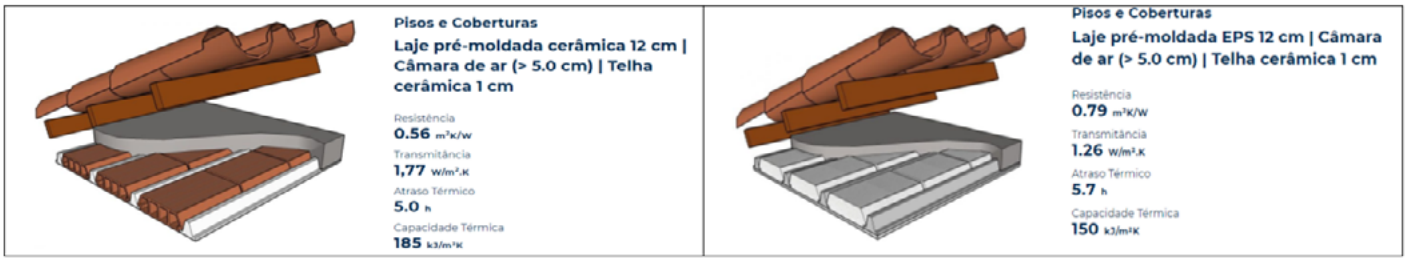
O isolamento da cobertura é essencial, tanto para atender ao inverno quanto ao verão. Mas a localização do isolamento é muito importante. Em locais com predominância do frio, o isolamento deve ser realizado preferencialmente junto ao forro ou laje e, no caso de lajes, colocado acima desta, para a manter a massa térmica da laje no interior da edificação (Figura 25).

Figura 25 - Localização do isolante na cobertura

Fonte: Autor

Uma informação importante é que lajes pré-moldadas podem usar tavelas de EPS, ao mesmo custo das tavelas de concreto, porém com maior resistência térmica (Figura 26).

Figura 26 – Propriedade de coberturas pré-moldadas



Fonte: Projetee - http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/

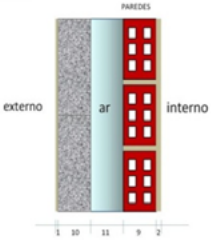
No caso das paredes e contextualizando ao caso de HIS, algumas questões devem ser consideradas, tais como o custo, a técnica construtiva de fácil execução, construção em série e a espessura das paredes que não devem ocupar muita área útil interna. Os materiais isolantes têm uma ótima relação custo/benefício, fácil e rápida aplicação.

O Quadro 4 comenta algumas opções de sistemas construtivos que atenderiam as exigências térmicas das Zonas Bioclimáticas 1 e 2, sem excluir outras não relacionadas.

Quadro 4 - Quadro de alguns sistemas construtivos para HIS na ZB1 e ZB2

Tijolo 6 furos

Bloco concreto celular 10x30x60



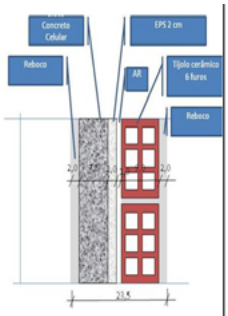
U= 0,7949 W/m²K
CT= 207,9 kJ/m²K

Como vantagem usa ar como isolante e matérias de baixo custo como o tijolo e o concreto celular autoclavado (CCA), que por ser leve, tem uma execução rápida. A espessura da câmara de ar pode ser de 6 cm sem qualquer alteração nas propriedades calculadas.

A desvantagem está na execução da alvenaria de tijolo, tempo, perdas e M.O, além de uma espessura total de parede acima dos 25cm.

Tijolo 6 furos

Bloco concreto celular 10x30x60



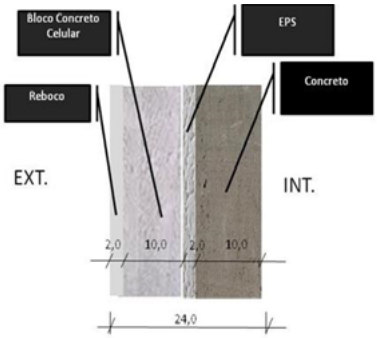
U= 0,6574 W/m²K
CT= 195 kJ/m²K

Nesta versão do caso anterior as vantagens e desvantagens são as mesmas, entretanto a espessura total da parede já fica inferior a 25 cm.

Bloco concreto celular 10x30x60

Concreto moldado

EPS

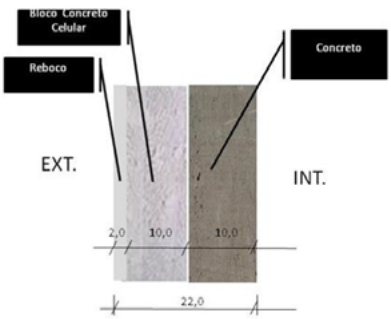


U= 0,64 W/m²K
CT= 310 kJ/m²K

As vantagens são em relação a técnica construtiva que permite moldar concreto in loco, facilidade em colocar o EPS e o CCA, obtendo transmitância abaixo de 1,0 W/m²K e alta capacidade térmica voltada para o interior da edificação. Espessura de 24cm.

Bloco concreto celular 10x30x60

Concreto moldado



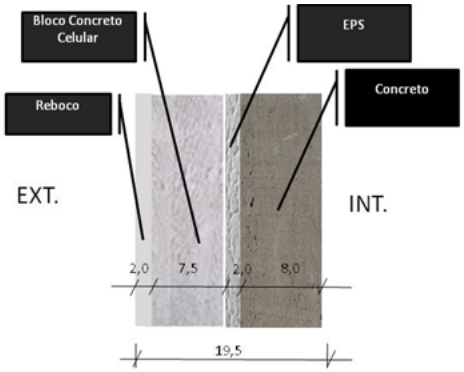
U= 1,19 W/m²K
CT= 310 kJ/m²K

Nesta versão a parede tem uma espessura de 22 cm, não tem EPS e alta capacidade térmica voltada para o interior da edificação. A transmitância fica pouco acima de 1,0 W/m²K.

Bloco concreto celular 10x30x60

Concreto moldado

EPS

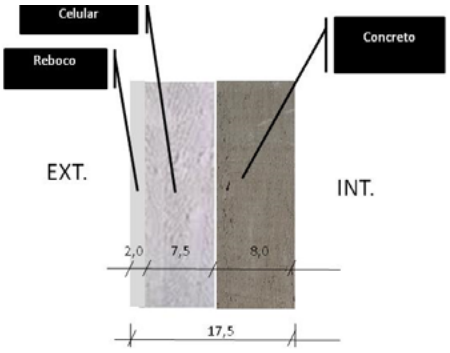


U= 0,80 W/m²K
CT= 253 kJ/m²K

As vantagens são em relação a técnica construtiva que permite moldar concreto in loco, facilidade em colocar o EPS e o CCA, obtendo transmitância abaixo de 1,0 W/m²K e alta capacidade térmica voltada para o interior da edificação e possuir espessura menor do que 20cm.

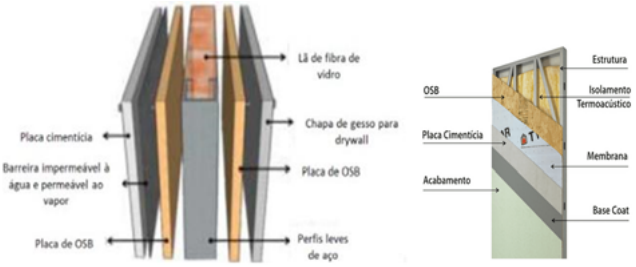
Bloco concreto celular 10x30x60

Concreto moldado



U= 1,48 W/m²K
CT= 253 kJ/m²K

Nesta versão a parede tem uma espessura de 17,5 cm, não tem EPS e alta capacidade térmica voltada para o interior da edificação. A transmitância fica acima de 1,0 W/m²K.



U=0,38 W/m²K
CT= 64 kJ/m²K

As principais vantagens do Light Steel Frame são com relação a técnica construtiva, rápida, modular e sem desperdícios. Custo mais elevado.

Possui muito baixa transmitância térmica e a capacidade térmica interna da edificação deverá ser fornecida pela laje de piso e paredes internas (quando possível).

Com relação *Light Steel Frame*, Coelho (2021) comparou o desempenho e os custos com sistema convencional de alvenaria de tijolos, dentre outras tipologias, para HIS para alcançar ENCE A e o menor consumo de energia com climatização, conforme os parâmetros de simulação do RTQ-R. Também foram orçadas as intervenções necessárias para que cada sistema construtivo alcançasse o melhor desempenho. Como exemplo, apresentam-se os resultados obtidos para uma HIS de cores claras. No Quadro 5 observa-se que o projeto de alvenaria, para apresentar mesmo desempenho do LSF necessita de maiores investimentos, mas mesmo assim ainda é mais barato do que LSF, para o período do orçamento (janeiro de 2021).

Quadro 5 – Intervenções, custos e desempenhos de sistema de alvenaria e LSF

Sistema alvenaria Estratègia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv	Custos	Dif. percentual (%)
Base (EP01)	2569,81	166,36	0,00%	4953,98	0,00%	3,7	R$ 35.447,68	0,00%
IC	2035,69	129,86	-21,94%	3165,68	-36,10%	4,1	R$ 37.833,52	6,73%
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1	1473,03	74,27	-55,35%	2040,68	-58,81%	4,6		
IC + Vidro Duplo + IPE1 + IP1 + Orientação	1241,57	43,43	-73,89%	3264,99	-34,09%	4,8	R$ 50.504,19	42,48%

Sistema LSF Estratègia	Consumo total (kWh)	CA (kWh/(m².ano))	Dif. Percentual (%)	GHr	Dif. Percentual (%)	EqNumEnv	Custos	Dif. percentual (%)
Base (EP01)	1.953,96	122,27	0,00	2614,79	0,00	4,1	R$ 47.231,84	0,00%
Vidro Duplo + Piso isolado	1.177,24	47,57	-61,09	3446,96	0,32	4,8		
Vidro Duplo + Piso isolado + Orientação	1.029,11	29,11	-76,19	4202,23	0,61	5,0	R$ 57.711,34	22,19%

IC – Isolamento da Cobertura: lã de rocha 100mm
IPE1 – Isolamento de Parede Externa: câmara de ar e placa de gesso acartonado
IP1 – Isolamento do piso: Laje pré-moldada com tavelas de EPS 40mm

Eficiência
A
B
C
D
E

1.5.5 Detalhamento de estratégias

As estratégias bioclimáticas possuem um aspecto qualitativo e um quantitativo. Nesta fase, deve-se dimensionar as espessuras de isolamento, os dispositivos de sombreamento, as aberturas para ventilação e atentar para as pontes térmicas que possam ocorrer na edificação e reduzir a eficiência do isolamento da construção. Na Figura 27 o próprio bloco de concreto celular (CCA) foi utilizado para evitar a ponte térmica pelo pilar de concreto, ao facear a superfície do mesmo.

Figura 27 – Exemplo de redução de ponte térmica pela estrutura

CONCLUSÃO 1.6

Os climas das ZB1 e ZB2 necessitam de uma atenção especial, sobretudo no que diz respeito a HIS. O frio da região pode castigar muito as pessoas mais vulneráveis. No entanto, edificações mais adequadas ao clima implica mais em conhecimento do que em investimentos, embora alguns cuidados tenham que ser tomados quanto a qualidade das esquadrias.

Existem muitas soluções de baixo custo, mas é necessário ter a consciência da importância disso para estes climas e o conhecimento de especialistas para resolver as questões. A indústria da construção (projetistas, especialistas, construtores e fabricantes) tem capacidade de atender às necessidades destas zonas sem implicar em custos proibitivos para HIS. Basta trabalhar em conjunto.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15.575. Desempenho de Edifícios Habitacionais**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

COELHO, A. L. **Análise custo-benefício do sistema light steel framing frente a requisitos de desempenho termoenergético em edificações unifamiliares na ZB2.** Dissertação de Mestrado, PROGRAU-UFPel. Pelotas-RS, 2021.

EVANS, J.M. e SCHILLER, S. de. **Diseño Bioambiental y Arquitectura Sola**r. Buenos Aires: EUDEBA, 1988. 187p.

LAMBERTS, R., DUTRA, L. E PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 1997.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2ªed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 421p.

POUEY, Juliana Al-Alam. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional**. Dissertação de Mestrado, PROGRAU-UFPel. Pelotas-RS, 2011.

RORIZ, M. **Segunda Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil,** 2012.

SILVA, A.C.S.B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. Dissertação apresentada na UFRGS para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, 1994.

SOARES, M. M. A**valiação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15.575/2013: Habitações de Interesse Social na zona bioclimática 2**. Dissertação de Mestrado – PROGRAU, UFPel, Pelotas, 2014.

SOARES, M. M.; SILVA, A.C.S.B. A**nálise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2.** Ambiente Construído vol.17 n°.1 Porto Alegre Jan./Mar. 2017.

SORGATO, M. J. *et al.* **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** LABEEE, UFSC. Florianópolis-SC, 2012.

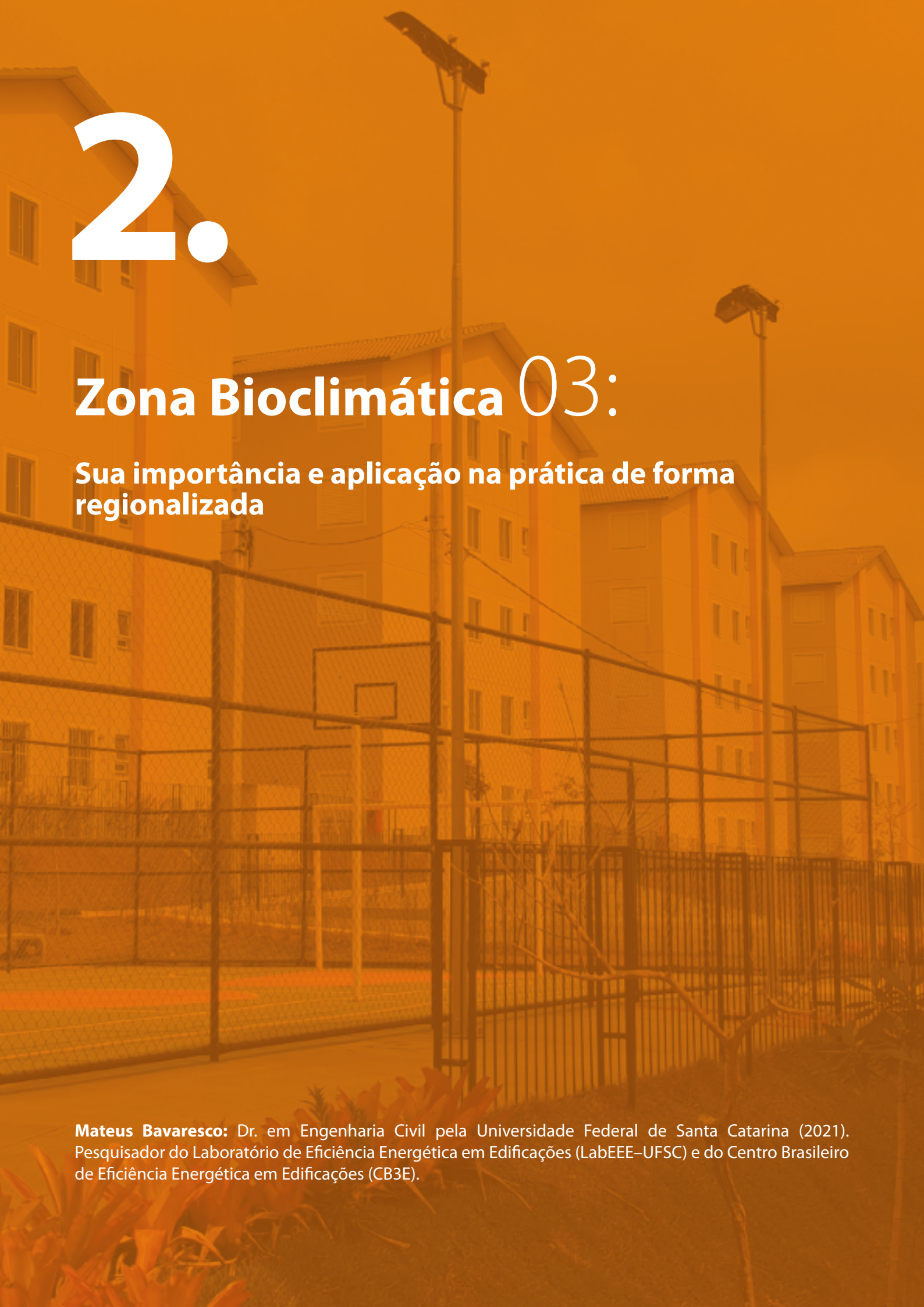
SORGATO, Márcio J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. A**nálise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da norma NBR 15575. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. ENCAC. Anais do evento. Brasília, DF, 2013.

Esta apostila foi elaborada Antonio César Silveira Baptista da Silva e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

2.

Zona Bioclimática 03:

Sua importância e aplicação na prática de forma regionalizada



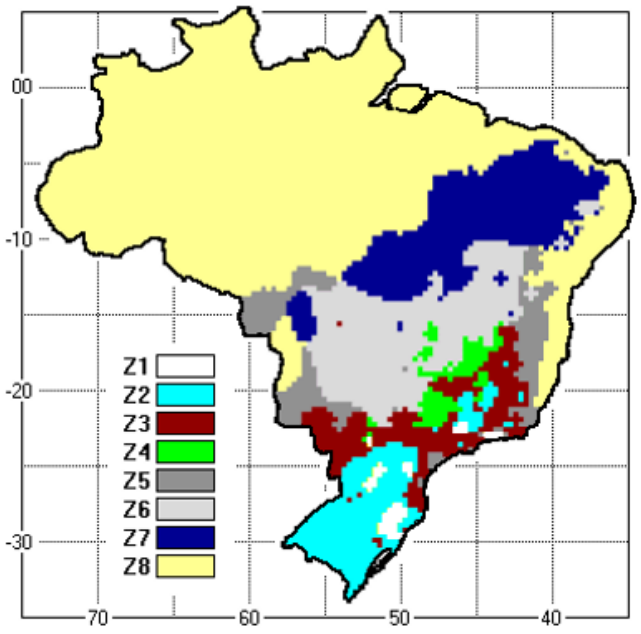
Mateus Bavaresco: Dr. em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (2021). Pesquisador do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE–UFSC) e do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E).

CARACTERIZAÇÃO DA ZONA BIOCLIMÁTICA 3

2.1

A NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005) apresenta um zoneamento bioclimático brasileiro que abrange recomendações e estratégias construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. O método empregado para determinar as zonas bioclimáticas brasileiras baseia-se nas médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e médias mensais das umidades relativas do ar. Esses indicadores climáticos foram obtidos com dados das Normais Climatológicas do Brasil e registrados na carta bioclimática adaptada a partir dos resultados apresentados por Givoni (1992). Conforme mostrado na Figura 1, o território nacional é dividido em oito zonas bioclimáticas pela NBR 15.220-3:2005, e a ZB 3 está destacada em vermelho.

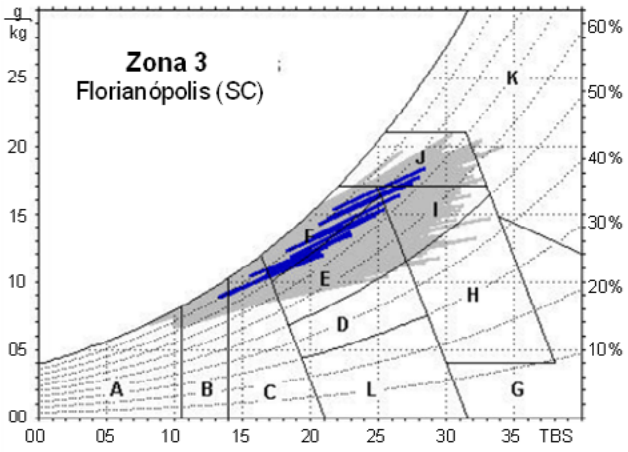
Figura 1 - Zonas bioclimáticas brasileiras – ZB 3 destacada em vermelho.



Fonte: ZBBR

De maneira mais específica, a plotagem dos dados das Normais Climatológicas na carta bioclimática permite determinar as porcentagens de horas concentradas em cada uma das zonas que representam estratégias viáveis para melhorar o desempenho das edificações nessas condições. Os resultados dessas plotagens estão disponíveis na NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005). A carta bioclimática com as normais climatológicas referentes à ZB 3 é apresentada na Figura 2, destacando-se, em azul, a cidade de Florianópolis-SC. Uma particularidade da ZB 3 é a concentração de horas, ao longo de um ano típico, tanto em zonas de desconforto térmico por frio quanto em zonas de desconforto térmico por calor –conforme evidenciado na Figura 2. Desta forma, é imprescindível que as soluções sejam pensadas de modo a otimizar o desempenho das habitações nesses diferentes cenários. Alternativas viáveis são apresentadas e discutidas nas próximas seções deste documento.

Figura 2 - Carta bioclimática com as normais climatológicas das cidades classificadas na ZB 3, destacando-se a cidade de Florianópolis-SC.



Fonte: ABNT

Na sequência, visando sintetizar as informações apresentadas na NBR 15.220-3:2005, a Tabela 1 apresenta a relação dos municípios classificados na ZB 3. A última coluna da Tabela 1 apresenta combinações de letras referentes às estratégias aplicáveis às edificações na ZB 3, conforme os critérios utilizados na norma e de acordo com a carta bioclimática adaptada. Essas estratégias serão discutidas na próxima seção.

Ressalta-se que quatro capitais de estados brasileiros pertencem à ZB 3, sendo elas: Belo Horizonte (MG), Florianópolis (SC), Porto Alegre (RS) e São Paulo (SP). É importante que os profissionais da área tenham acesso a essas informações e conheçam a classificação climática dos municípios em que trabalham. Portanto, como a norma classifica apenas uma porcentagem dos municípios brasileiros, recomenda-se o uso do software gratuito ZBBR (ver: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr) para a determinação da zona bioclimática de outras localidades. O programa apresenta uma interface gráfica de fácil compreensão e abrange outros 5.231 municípios – além dos 330 originalmente mostrados na NBR 15.220-3:2005.

Tabela 1- Cidades classificadas na ZB 3 e apresentadas no Anexo A da NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005).

UF	Cidade	Estratégias
MG	Araxá	BCFI
MG	Bambuí	BCFIJ
MG	Barbacena	BCFI
MG	Belo Horizonte	BCFI
MG	Caratinga	BCFI
MG	Conceição do Mato Dentro	BCFI
MG	Coronel Pacheco	BCFIJ
MG	Curvelo	BCFIJ
MG	Diamantina	BCFI
MG	Grão Mogol	BCFI
MG	Itabira	BCFI
MG	Itamarandiba	BCFI
MG	Juiz de Fora	BCFI
MG	Lavras	BCFI
MG	Monte Alegre de Minas	BCFIJ
MG	Muriaé	BCFIJ
MG	Pompeu	BCFIJ
MG	Santos Dumont	BCFI
MG	São João Evangelista	BCFIJ
MG	Ubá	BCFIJ
MG	Uberaba	BCFIJ
MG	Viçosa	BCFIJ
MS	Dourados	BCFIJ
MS	Ponta Porã	BCFI
MT	Presidente Murtinho	BCFIJ
PR	Campo Mourão	BCFI
PR	Foz do Iguaçu	BCFIJ

UF	Cidade	Estratégias
PR	Guaíra	BCFIJ
PR	Jacarezinho	BCFIJ
PR	Londrina	BCFI
PR	Paranaguá	BCFIJ
RJ	Carmo	BCFIJ
RJ	Cordeiro	BCFIJ
RJ	Petrópolis	BCF
RJ	Piraí	BCFIJ
RJ	Rezende	BCFIJ
RJ	Vassouras	BCFIJ
RS	Iraí	BCFIJ
RS	Porto Alegre	BCFI
RS	Rio Grande	BCFI
RS	Torres	BCFI
SC	Camboriu	BCFIJ
SC	Chapecó	BCFI
SC	Florianópolis	BCFIJ
SC	Indaial	BCFIJ
SP	Avaré	BCFIJ
SP	Bandeirantes	BCFI
SP	Bariri	BCFI
SP	Barra Bonita	BCFI
SP	Campinas	BCFI
SP	Graminha	BCFI
SP	Ibitinga	BCFIJ
SP	Jurumirim	BCFI
SP	Mogi Guaçu (Campininha)	BCFIJ
SP	Pindamonhangaba	BCFIJ
SP	Ribeirão das Antas	BCFI
SP	Salto Grande	BCFIJ
SP	São Paulo	BCFI
SP	Sorocaba	BCFI
SP	Tietê	BCFI
SP	Tremembé	BCFI
SP	Ubatuba	BCFIJ

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS INDICADAS À ZB 3

2.2

O método de zoneamento bioclimático apresentado na NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005) também estabelece estratégias bioclimáticas aplicáveis para cada uma das zonas, conforme discutido anteriormente e apresentado na Tabela 1. As estratégias são expostas de acordo com letras que variam de A a L, conforme as zonas apresentadas na carta bioclimática adaptada. A Tabela 2 sintetiza essas zonas e as respectivas estratégias bioclimáticas aplicáveis. De maneira geral, as estratégias mais indicadas à ZB 3 de acordo com a NBR 15.220-3:2005 estão relacionadas às seguintes características:

- Ventilação cruzada (verão);
- Aquecimento solar da edificação (inverno);
- Vedações internas pesadas para garantir inércia térmica para aquecimento (inverno).

Tabela 2 – Estratégias bioclimáticas de acordo com as zonas apresentadas na carta bioclimática adaptada.

Zonas	Estratégia
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**
F	**Zona de desumidificação (renovação do 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**

Um desafio inerente à ZB 3 é o balanço entre as condições de verão e de inverno, pois as estratégias aplicáveis ao período frio podem comprometer o desempenho e a eficiência das HIS durante o período quente – e vice-versa. Nesse sentido, o aquecimento solar da edificação (aplicável ao inverno) deve ser projetado atentamente pelos profissionais envolvidos a fim de evitar que a habitação ganhe calor excessivo em dias mais quentes. De maneira similar, a estratégia de ventilação também deve prever as perdas de calor durante o inverno, o que pode resultar em baixos níveis de conforto térmico dos ocupantes ou na necessidade do uso de sistemas ativos de aquecimento. Lamberts *et al.* (2010) apresentaram e discutiram estratégias bioclimáticas empregadas para construir uma habitação em Florianópolis-SC, bem como os resultados de monitoramentos ao longo de dois anos para avaliação do impacto dessas estratégias. A habitação em questão foi idealizada como uma vitrine de tecnologias para promover eficiência energética e conforto ambiental em edificações residenciais. Por ter sido construída em Florianópolis (ZB 3), os resultados apresentados são importantes para o projeto de novas habitações nesta zona bioclimática. Dentre outros aspectos, os autores mostraram a importância de utilizar adequadamente a ventilação natural e a viabilidade

do sombreamento das aberturas, considerando que essas otimizações influenciam o desempenho das estratégias viáveis para a ZB 3 considerando o balanço entre condições de inverno e de verão.

Além disso, apesar de a NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005) apresentar uma visão geral e síntese de estratégias aplicáveis às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, é essencial conhecer especificidades de climas locais. De acordo com Bavaresco *et al.* (2021), a literatura nacional evidencia que mesmo fazendo parte de uma mesma zona bioclimática, diferentes municípios podem apresentar condições específicas que impactam na escolha de estratégias bioclimáticas mais adequadas. Uma ferramenta online e gratuita à disposição de profissionais da área para avaliar cidades específicas é o ProjetEEE (ver: http://www.mme.gov.br/projeteee). Comparando-se algumas das capitais que fazem parte da ZB 3, é possível perceber que Porto Alegre (RS) apresenta maior porcentagem de horas do ano em situação de desconforto por frio em relação à Belo Horizonte (MG). Como consequência, apesar fazerem parte da mesma ZB, o uso de aquecimento solar passivo é mais indicado em Porto Alegre. Essas condições específicas ajudam os profissionais da área a conhecer os detalhes dos climas locais e, quando necessário, dão suporte na escolha de prioridades de acordo com o orçamento disponível para o projeto. Por fim, ressalta-se que o ProjetEEE também detalha possíveis aplicações da estratégia bioclimática indicada – e.g., para ventilação natural: ventilação cruzada, captação com uso de vegetação, efeito chaminé, etc. Desta forma, é possível obter inspiração para aplicar diferentes estratégias ainda na fase de projeto das habitações.

A NBR 15.575 E RTQ-R – PRESCRIÇÕES PARA COMPONENTES CONSTRUTIVOS

2.3

Além da possibilidade de aplicar estratégias bioclimáticas a fim de melhorar o desempenho termoenergético de HIS, é importante que os profissionais da área conheçam as propriedades termofísicas dos componentes construtivos empregados. Neste sentido, diferentes normas e regulamentos nacionais apresentam prescrições de componentes construtivos para a ZB 3. Além da NBR 15.220-3:2005 (ABNT, 2005), a NBR 15.575 "Edificações habitacionais – Desempenho" também apresenta limites em relação aos componentes construtivos adequados para habitações inseridas em diferentes climas. Esta norma entrou em vigor em 2013 e foi revisada recentemente. A revisão resultou na publicação de emendas, tanto em relação à Parte 1 que trata dos requisitos gerais (ABNT, 2021a) quanto às Partes 4 e 5 (ABNT, 2021b; ABNT, 2021c) que tratam de requisitos para os sistemas de vedações verticais e de cobertura, respectivamente. Por fim, os profissionais da área podem recorrer ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012) para determinar os materiais construtivos adequados ao local em questão. Ressalta-se que o RTQ-R está em revisão e um novo método (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – INI-R) está sendo desenvolvido. O novo método classificará as edificações habitacionais de acordo com seu consumo de energia primária; um avanço em relação ao regulamento atual que resulta em um indicador de consumo. Entretanto, como a versão final da INI-R ainda não está disponível, esta seção apresenta uma síntese de prescrições de componentes construtivos das normas NBR 15.2220 e NBR 15.575 e do RTQ-R. As Tabelas 3 e 4 apresentam os limites para paredes externas e coberturas, respectivamente.

Tabela 3 – Limites das propriedades termofísicas de paredes externas.

Norma/Regulamento	Absortância (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
NBR 15.220-3 (ABNT, 2005)	*	$U \leq 3{,}60$	**
NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) e RTQ-R (BRASIL, 2012)	$\alpha \leq 0{,}6$	$U \leq 3{,}70$	$CT \geq 130$
	$\alpha > 0{,}6$	$U \leq 2{,}50$	

*A NBR 15.220-3 não determina diretamente os valores máximos de absortância, mas apresenta o seguinte limite para o fator solar das vedações: $FSo \leq 4{,}00$.

** A NBR 15.220-3 não determina diretamente os valores máximos de capacidade térmica, mas apresenta o seguinte limite para o atraso térmico das vedações: $\varphi \leq 4{,}30$ horas.

Tabela 4 – Limites das propriedades termofísicas de coberturas.

Norma/Regulamento	Absortância (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
NBR 15.220-3 (ABNT, 2005)	*	$U \leq 2{,}00$	**
NBR 15.575-5 (ABNT, 2021) e RTQ-R (BRASIL, 2012)	$\alpha \leq 0{,}6$	$U \leq 2{,}30$	-
	$\alpha > 0{,}6$	$U \leq 1{,}50$	-

*A NBR 15.220-3 não determina diretamente os valores máximos de absortância, mas apresenta o seguinte limite para o fator solar das coberturas: $FSo \leq 6{,}50$.

** A NBR 15.220-3 não determina diretamente os valores máximos de capacidade térmica, mas apresenta o seguinte limite para o atraso térmico das coberturas: $\varphi \leq 3{,}30$ horas.

De maneira similar à determinação das estratégias bioclimáticas, os profissionais da área podem utilizar a ferramenta ProjetEEE (ver: http://www.mme.gov.br/projeteee) para determinar as propriedades termofísicas de diferentes componentes construtivos. Um catálogo de opções de paredes, coberturas e vidros é apresentado juntamente com ilustrações para facilitar a especificação de componentes que se adequam às exigências para a ZB 3.

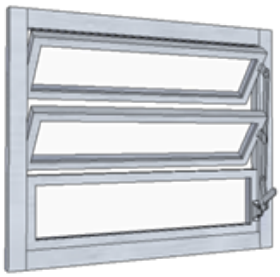
Além de propriedades termofísicas de paredes e coberturas, a atualização da NBR 15.575 apresenta duas inovações significativas em relação à versão inicial:

- Elementos transparentes (ABNT, 2021b): a inclusão desse critério limita a área de elementos transparentes em ambientes de permanência prolongada (APP). Ambientes com até 20 m^2 devem possuir elementos transparentes que representem 20% ou menos de sua área. Em ambientes maiores que 20 m^2, a norma recomenda o uso de aberturas com até 4,0 m^2. Entretanto, maiores áreas envidraçadas podem ser utilizadas caso seja previsto ângulo de sombreamento, ou a depender do fator solar do vidro e da etiqueta da esquadria. Todos os detalhes são apresentados na NBR 15.575-4:2021 (ABNT, 2021b). Além disso, ressalta-se a possibilidade de utilizar elementos transparentes com até 30% da área de piso dos APP caso a latitude local seja inferior a -15° (característica frequente em municípios da ZB 3) e essas aberturas tenham orientação sul. Essa é uma informação importante para projetos na ZB 3, uma vez que facilita a aplicação da estratégia bioclimática de aquecimento solar da edificação.
- Degradação da absortância solar (ABNT, 2021a): a atualização da norma recomenda a consideração da degradação da absortância solar por meio de medições ou utilizando valores obtidos em estudos de campo. Apesar de possuir caráter informativo, este critério é um avanço na normativa nacional por evidenciar as alterações sofridas por propriedades térmicas de superfícies ao longo do tempo. A degradação da absortância solar de paredes e cobertura pode resultar no descumprimento dos valores prescritos anteriormente.

Em relação às áreas de elementos transparentes, é importante que os profissionais da área considerem que a escolha das esquadrias também impacta no percentual de abertura para ventilação nos APP. Para a ZB 3, a NRR 15.575-4:2021 (ABNT, 2021b) recomenda que os percentuais de abertura para ventilação sejam maiores ou iguais a 7,0% da área de piso nos APP. É necessário compreender que as características específicas de esquadrias implicam em diferentes porcentagens de áreas efetivas para iluminação e ventilação naturais. O Anexo II do RTQ-R (BRASIL, 2012) apresenta uma lista com detalhamento para dezessete tipos de janelas em relação às variações entre abertura para iluminação e abertura para ventilação. Este material é útil para que os projetistas escolham aberturas adequadas de acordo com os ambientes projetados. Três desses modelos são mostrados na Tabela 5, caracterizando janelas com variações nas proporções de aproveitamento de iluminação e ventilação.

Tabela 5 – Exemplos de janelas apresentadas no Anexo II do RTQ-R (BRASIL, 2012).

Ilustração da janela	Variações nas aberturas para iluminação e ventilação naturais	
Janela de abrir (90°) – duas folhas	Abertura para iluminação natural = 90%	% de iluminação = % de ventilação
	Abertura para ventilação = 90%	

<table>
<tr><th>Ilustração da janela</th><th colspan="2">Variações nas aberturas para iluminação e ventilação naturais</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Janela de correr – duas folhas
 </td><td>Abertura para iluminação natural = 80%</td><td rowspan="2">% de iluminação
>
% de ventilação</td></tr>
<tr><td>Abertura para ventilação = 45%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Janela basculante
  </td><td>Abertura para iluminação natural = 65%</td><td rowspan="2">% de iluminação
>
% de ventilação</td></tr>
<tr><td>Abertura para ventilação:
• 70% (i=45°);
• 90% (i=90°)</td></tr>
</table>

DISCUSSÕES SOBRE IMPACTOS NOS CUSTOS DOS PROJETOS

2.4

A literatura nacional evidencia que a inclusão de medidas de eficiência energética não implica, necessariamente, em aumentos elevados no custo de HIS. Portanto, é importante que diferentes partes interessadas conheçam as normativas e regulamentos vigentes para que aprimorem suas práticas em relação ao projeto e execução de HIS nacionalmente. A escolha de absortâncias solares adequadas, por exemplo, pode não acarretar custos adicionais ao projeto caso a tinta especificada respeite os limites para o local de construção desde o detalhamento do projeto. Outra solução que se destaca por não acrescentar custo à obra é a adequação em relação à orientação das habitações (BARBOSA, 2017). A autora expõe que planejar adequadamente a orientação de uma habitação é o primeiro passo para otimizar seus níveis de desempenho térmico e eficiência energética. A orientação adequada é fundamental para otimizar os ganhos de radiação solar ao longo do ano, um aspecto essencial para garantir bons níveis de desempenho em habitações da ZB 3. Além de estratégias pontuais, é importante ressaltar que Froener (2013) analisou a inclusão de critérios do Selo Casa Azul em um empreendimento de HIS localizado em Porto Alegre (ZB 3), e evidenciou a viabilidade em relação à inclusão desses fatores considerando a baixa implicação no custo final das unidades habitacionais.

De maneira mais abrangente, Tubelo *et al*. (2018) analisaram a viabilidade de diferentes estratégias de otimização do envelope de HIS em climas brasileiros por meio de análise de sensibilidade. Dentre as três cidades avaliadas no estudo, duas fazem parte da ZB 3 (Porto Alegre e São Paulo). Os autores concluíram que é possível otimizar o envelope das habitações e melhorar os níveis de conforto térmico dos ocupantes em até 97% em relação ao modelo típico; entretanto, os custos adicionais podem chegar em até 50% neste caso. Esse envelope de melhor desempenho engloba elevados níveis de isolamento térmico, e o tempo de payback para essa estratégia se mostrou inviável tanto para Porto Alegre quanto para São Paulo. Porém, ao ponderar o custo-benefício de diversas soluções, concluiu-se que é possível otimizar os componentes construtivos de modo que as condições de conforto sejam melhoradas em mais de 40% garantindo custos adicionais menores que 10% à obra. As seguintes combinações de componentes construtivos foram apresentadas como a solução de melhor custo-benefício: vidro transparente simples de 4 mm; paredes de bloco cerâmico com uma camada de 10 cm de isolamento térmico; e cobertura em telha cerâmica com uma barreira radiante (0,15 mm de alumínio polido) e forro de madeira. Utilizando essas composições, os autores concluíram que os tempos de *payback* são 17 e 11 anos para São Paulo e Porto Alegre, respectivamente. É importante que análises como essa sejam apresentadas aos profissionais da área para que as tomadas de decisão sejam baseadas em evidência.

2.5 CONCLUSÕES

É importante que os profissionais da área conheçam ferramentas e materiais adequados à definição de estratégias bioclimáticas aplicáveis às habitações que estão projetando. Portanto, este documento sintetizou recomendações das normas e regulamentos vigentes no Brasil (NBR 15.220, NBR 15.575 e RTQ-R) para as habitações inseridas na ZB 3. Evidenciou-se a necessidade de conhecer as especificidades dos climas de cada munícipio a fim de priorizar as estratégias bioclimáticas mais adequadas de acordo com o orçamento disponível. Afinal, um desafio inerente à ZB 3 é o balanço entre soluções viáveis para o inverno e soluções viáveis para o verão. Além disso, mostrou-se que as escolhas de estratégias para melhorar o desempenho termoenergético de habitações de interesse social não implicam, necessariamente, em aumentos exorbitantes no custo das unidades habitacionais. A apresentação de resultados em relação ao custo-benefício de diferentes estratégias permite a tomada de decisão de profissionais da área visando melhorar os níveis de eficiência energética e de qualidade do ambiente interno nessas habitações ao longo de sua operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2005 – Desempenho térmico de edificações** - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho.** Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-4:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho.** Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2021b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-5:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho.** Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2021c.

BARBOSA, K. H. **Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia.** Florianópolis, 2017. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

BAVARESCO, M.V.; CUCHIVAGUE, H. Y. O.; SCHINAZI, A.; GHISI, E. Aspectos impactantes no desempenho energético de habitações de interesse social brasileiras: revisão de literatura. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 263-292, jan./mar. 2021.

FROENER, M. S. **Análise dos recursos necessários para obtenção do Selo Casa Azul em condomínios do Programa Minha Casa Minha Vida.** Porto Alegre, 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico.** v. 1, 123 p. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

ProjetEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee>. Acesso em: 01 nov. 2021.

TUBELO, R.; RODRIGUES, L.; GILLOTT, M.; SOARES, J. C. G. Cost-effective envelope optimisation for social housing in Brazil's moderate climates zones. **Building and Environment**, v. 133, p. 213-227, 2018.

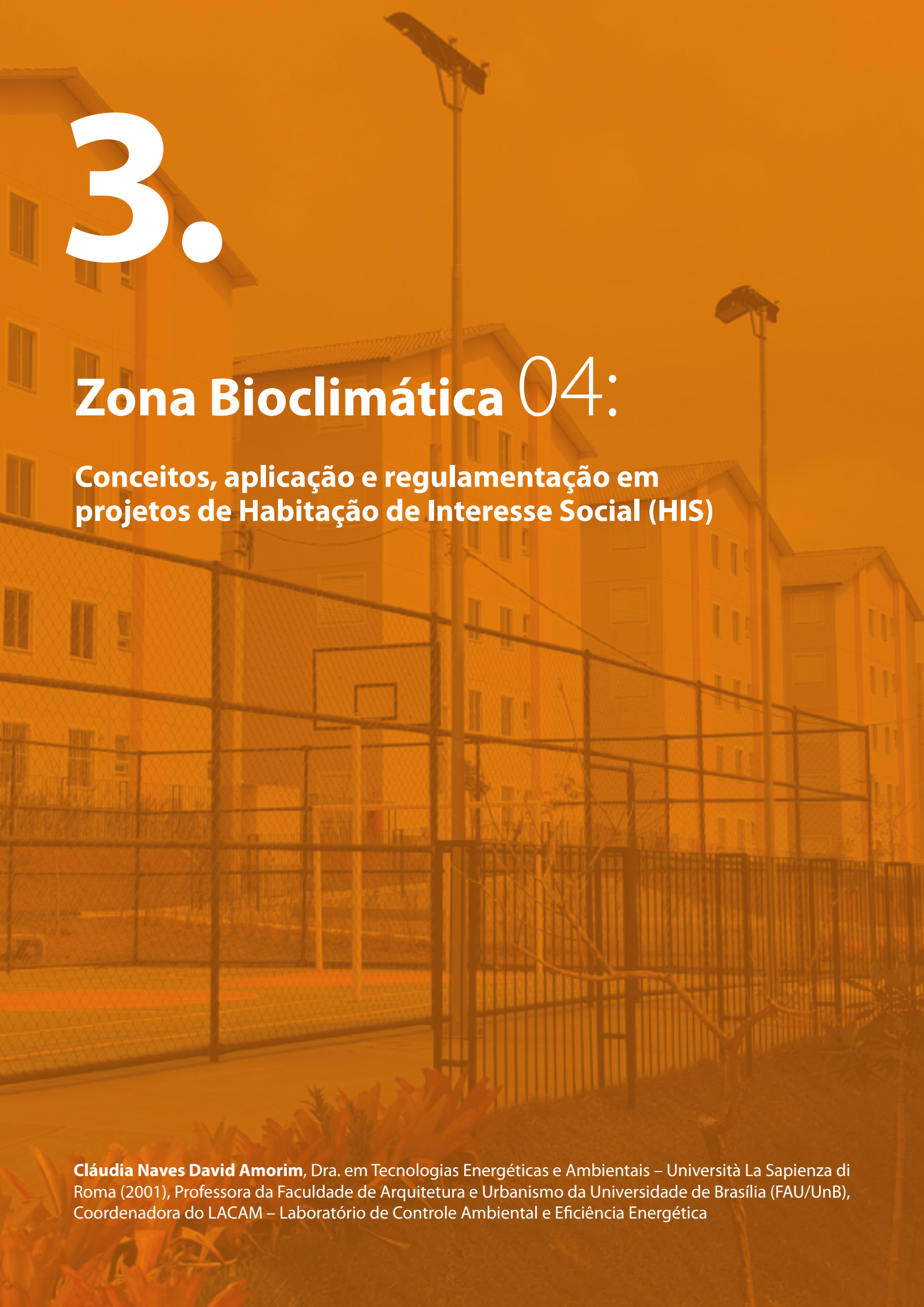
ZBBR. **Zoneamento Bioclimático do Brasil.** Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3, de 29/04/2005. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>. Acesso em: 29 out. 2021.

Esta apostila foi elaborada por Mateus Bavaresco, e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

3.

Zona Bioclimática 04:

Conceitos, aplicação e regulamentação em projetos de Habitação de Interesse Social (HIS)



Cláudia Naves David Amorim, Dra. em Tecnologias Energéticas e Ambientais – Università La Sapienza di Roma (2001), Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU/UnB), Coordenadora do LACAM – Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética

APRESENTAÇÃO DA ZONA BIOCLIMÁTICA 04 E CLIMA DA REGIÃO

3.1

No projeto de edificações, sobretudo no caso de habitações de interesse social, é de extrema importância otimizar recursos para obtenção do melhor resultado possível em termos de desempenho das edificações. Neste sentido, a correta aplicação das normas existentes pode auxiliar neste objetivo. As decisões de projeto acarretarão consequências no desempenho térmico da edificação e possivelmente no consumo de energia da mesma, lembrando que quanto mais adaptada ao clima local, menos a edificação necessitará de estratégias de condicionamento térmico artificiais, que consomem mais energia.

A NBR 15220, "Desempenho térmico de edificações" (ABNT, 2005) é voltada para o desempenho térmico de edificações habitacionais, A terceira parte da norma, que aqui nos interessa, estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, dividindo o território brasileiro em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. A Figura 1 apresenta o mapa do Brasil com as divisões das zonas bioclimáticas e a zona bioclimática 4.

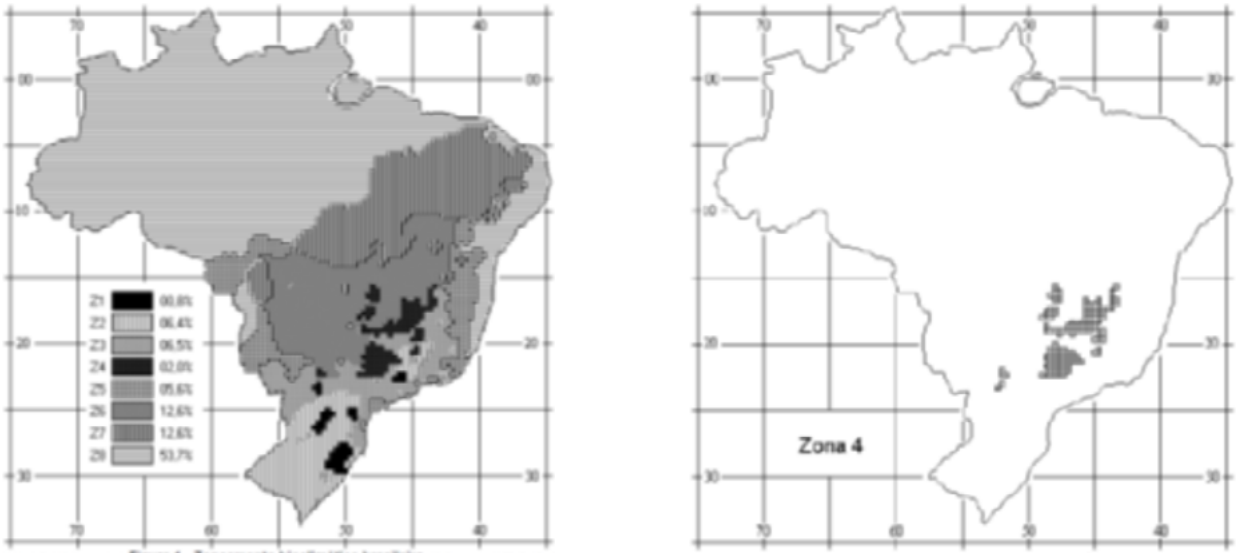
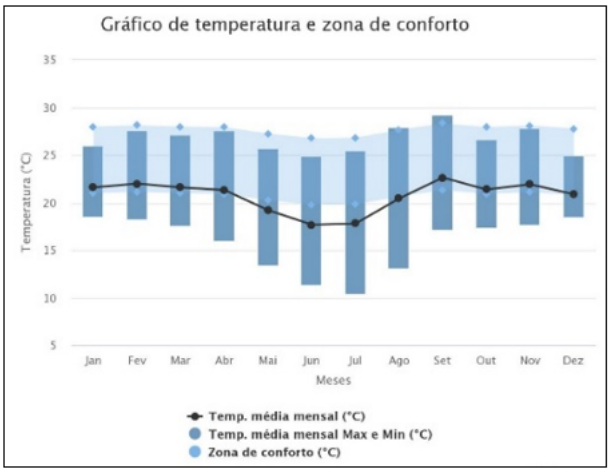


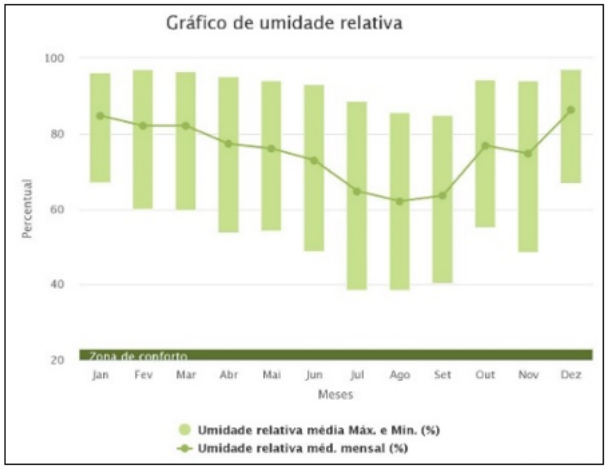
Figura 1. Zoneamento bioclimático brasileiro e a zona bioclimática 04 (Fonte: ABNT, 2005)

A Zona bioclimática 4, aqui tratada, engloba 17 diferentes cidades, localizadas no Distrito Federal e em 3 estados (SP, MG, GO), quais sejam: Brasília (DF), Ipameri e Luziânia (GO), Oliveira, Patos de Minas, Pirapora, Pitangui e Sete Lagoas (MG), Franca, Jaú, Limeira, Limoeiro, Mococa, Ribeirão Preto, São Carlos, São Simão e Viracopos (SP).

A título de exemplo, apresentam-se aqui alguns dados climáticos (temperatura, umidade relativa e radiação solar) de 3 diferentes cidades da zona 4, evidenciando três diferentes situações na mesma zona bioclimática (figura 3): Brasília (DF), Pirapora (MG) e Franca (SP). Os gráficos são extraídos a partir da plataforma Projeteee1(2021).

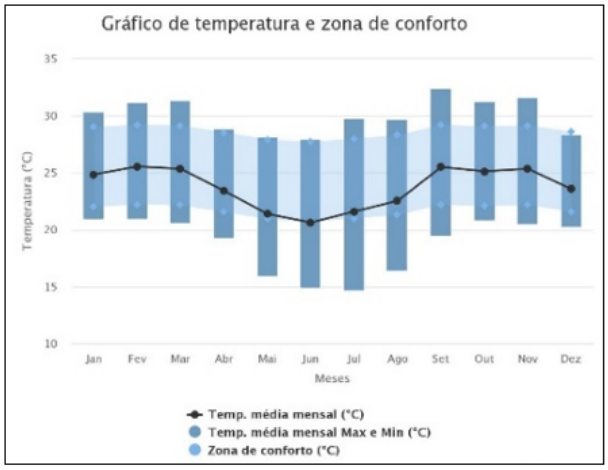
Brasília (DF):

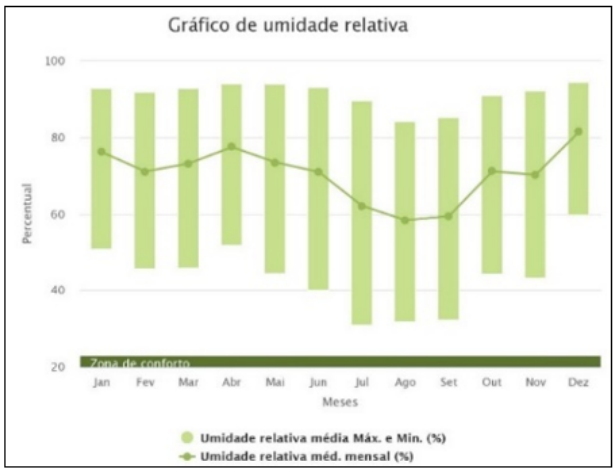




46% desconforto por frio
37% em conforto
18% desconforto por calor

Pirapora (MG):

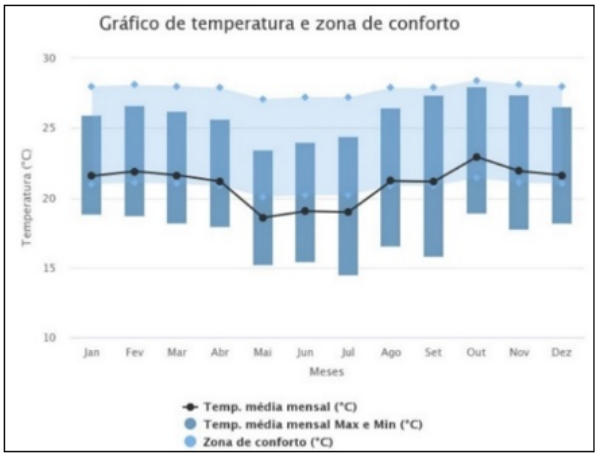


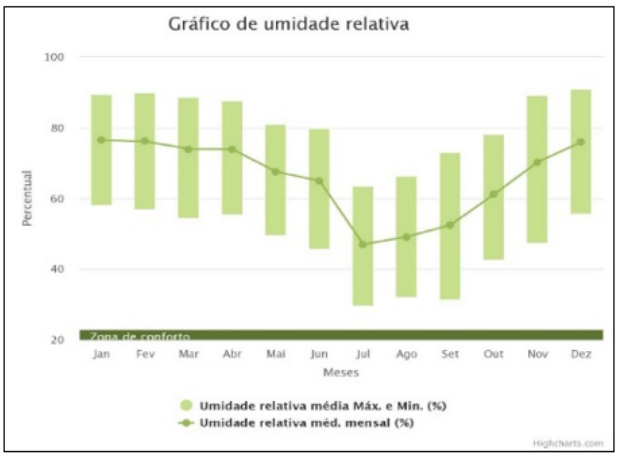


18% desconforto por frio
44% em conforto
38% desconforto por calor

[1]Os arquivos climáticos adotados pela plataforma são os arquivos climáticos INMET 2016, disponíveis para download em http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016

Franca (SP):





44 % desconforto por frio
44 % em conforto
13 % desconforto por calor

Figura 2. Dados climáticos (temperatura e umidade relativa) de três cidades da zona bioclimática 4

A partir da análise dos dados, percebem-se pequenas diferenças em cidades da mesma zona bioclimática: a cidade de Franca, por exemplo, apresenta temperaturas mais estáveis durante o ano, com menor amplitude térmica do que as outras duas cidades. A cidade de Pirapora, por outro lado, tem temperaturas mais altas do que Brasília, caracterizando um clima mais quente e menor desconforto por frio, no período entre maio e agosto. Em Brasília o desconforto por frio é o maior das três cidades.

A análise detalhada do clima é um fator importante para qualquer projeto, considerando as especificidades relativas às temperaturas, umidades, radiação solar incidente, chuvas e ventos predominantes. A plataforma Projeteee (Projeteee, 2021) pode ser utilizada para consulta sobre dados climáticos de mais de 400 cidades brasileiras.

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS E DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA 04

3.2

As estratégias de condicionamento térmico são definidas pelas normais climatológicas plotadas na carta bioclimática, conforme apresentado na figura 3.

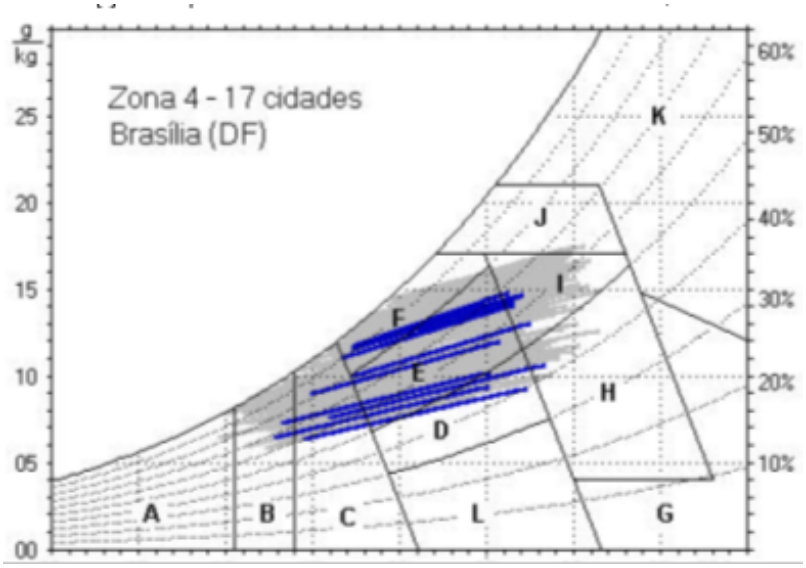


Figura 3. Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Brasília, DF (Fonte: ABNT, 2005b)

Vamos explorar cada uma destas estratégias, vinculadas à Zona Bioclimática 4:

As estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas para a Zona Bioclimática 4 são diferenciadas por estação do ano, conforme apresentado na Tabela 1:

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa Térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas

Tabela 1. Estratégias de condicionamento térmico passivo (Fonte: ABNT, 2005)

Apresenta-se a seguir um detalhamento e exemplificação projetual das estratégias apresentadas:

VERÃO

H RESFRIAMENTO EVAPORATIVO E MASSA TÉRMICA PARA RESFRIAMENTO

O resfriamento evaporativo é uma estratégia utilizada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir a sua temperatura. Recomendável para temperaturas entre 20ºC e 44°C e umidade relativa entre 10% e 24%. O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta. O uso de vegetação, de fontes d'água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo (figura 4).

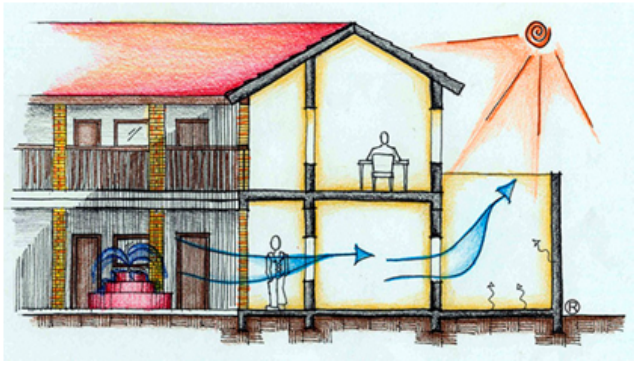


Figura 4. Resfriamento evaporativo através de fontes em pátios internos. (Fonte: Projeteee, 2021

J VENTILAÇÃO SELETIVA

A ventilação corresponde uma estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio). As soluções arquitetônicas comumente utilizadas são ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação. Importante destacar que a ventilação em nível do edifício depende em grande medida do desenho urbano, que deve permitir a permeabilidade (figura 5).

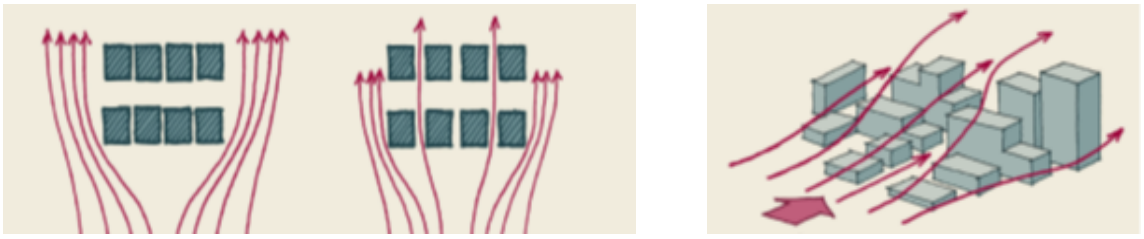


Figura 5. Exemplos de desenho urbano e sua influência na ventilação para os edifícios, em função da massa edificada, espaçamentos e alturas, (Fonte: BUTERA; KITIO, 2017)

Por outro lado, em nível de edifício, a existência de mais de uma abertura e a colocação de anteparos pode incrementar a ventilação, conforme evidencia a figura 6.

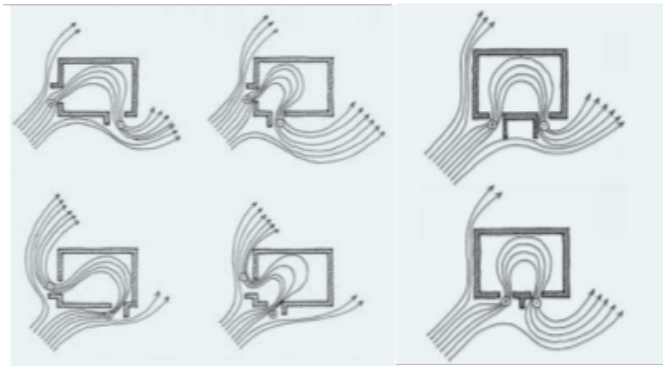


Figura 6. Posição das aberturas e anteparos e sua influência na ventilação (Fonte: LECHNER, 2009)

É importante considerar que a ZB 4 prevê a chamada ventilação seletiva, ou seja, controlável conforme a necessidade. Isto significa prever em projeto a possibilidade de fechamento ou diminuição do fluxo de ventilação, em especial durante a noite (devido á amplitude térmica alta, quase sempre as noites são frias, ou em períodos frios durante o dia). A título de exemplo, para a cidade de Brasília recomenda-se ventilação natural somente em 17% das horas anuais e 36,3% das horas de verão (LAMBERTS et al, 2014). Portanto, o controle das aberturas é de extrema importância nesta ZB (figura 7).

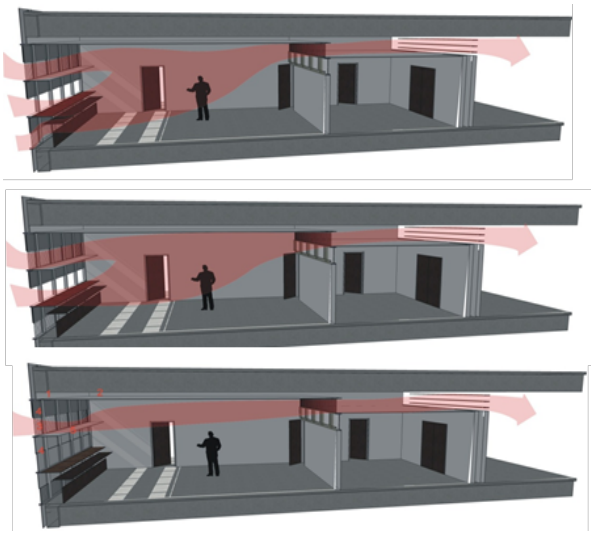


Figura 7. Exemplo de ventilação seletiva, com três diferentes possibilidades de abertura das esquadrias (Fonte: AMORIM et al, 2009)

É importante considerar que a ZB 4 prevê a chamada ventilação seletiva, ou seja, controlável conforme a necessidade. Isto significa prever em projeto a possibilidade de fechamento ou diminuição do fluxo de ventilação, em especial durante a noite (devido á amplitude térmica alta, quase sempre as noites são frias, ou em períodos frios durante o dia). A título de exemplo, para a cidade de Brasília recomenda-se ventilação natural somente em 17% das horas anuais e 36,3% das horas de verão (LAMBERTS et al, 2014). Portanto, o controle das aberturas é de extrema importância nesta ZB.

INVERNO

B AQUECIMENTO SOLAR DA EDIFICAÇÃO

O aquecimento solar passivo deve ser adotado para os casos com baixa temperatura do ar, entre 14 ºC e 20°C. Recomenda-se que a edificação tenha superfícies envidraçadas orientadas para o sol e aberturas reduzidas nas fachadas que não recebem insolação para evitar perdas de calor. Cabe ressaltar a importância de utilizar de maneira muito bem detalhada esta estratégia, orientando corretamente as superfícies envidraçadas de forma a evitar o ganho solar nas épocas quentes (figura 8).

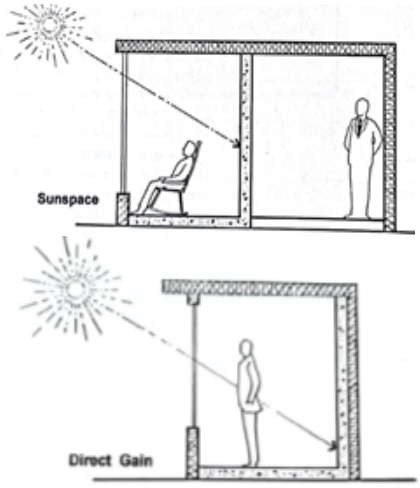


Figura 8. Tipos de sistemas para aquecimento solar passivo: jardim de inverno e ganho direto (Fonte: LECHNER, 2009)

VEDAÇÕES INTERNAS PESADAS (INÉRCIA TÉRMICA)

Neste caso, pode-se adotar componentes construtivos com maior inércia térmica, além de aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para evitar perdas de calor, pois esta zona apresenta temperaturas entre 14 ºC e 20°C (figura 9).

Figura 9. Parede acumuladora, que recebe radiação solar a partir da abertura zenital (Fonte: arquivo pessoal)

Quanto ao isolamento térmico, deve-se priorizar sempre o isolamento primeiramente na cobertura, que recebe a maior carga térmica durante o dia[2].

Com relação às demais estratégias preconizadas pela norma para a zona bioclimática 4, estas são apresentadas na tabela 2.

Aberturas para ventilação			
Médias	Entre 15 e 35% da área de piso		
Vedações externas			
Paredes			
Pesadas	Transmitância térmica – U W/m2. K	Atraso térmico – φ Horas	Fator Solar - FSo %
	U ≤ 2.20	φ ≥ 6,5	FSo ≤ 3,5
Cobertura			
Leve e isolada	**U ≤ 2.00**	**φ ≤ 3,3**	**FSo ≤ 6,5**

Tabela 2. Recomendações para Aberturas para ventilação e Vedações externas (Fonte: adaptado de NBR 15.220 – Parte 3 (ABNT, 2005b)

A NBR 15.220 apresenta uma lista dos componentes para paredes e coberturas mais comuns na construção civil, e seus valores de Transmitância térmica (U), Capacidade Térmica (CT) e Atraso (φ).

Além da NBR 15.220, mais recentemente a NBR 15.575 "Desempenho de edificações habitacionais" também preconiza indicações para as vedações externas em edificações da zona bioclimática 4 (tabela 3). Aqui acrescenta-se a absortância solar como critério, combinada à transmitância térmica e capacidade térmica.

[2]Utilizar o isolamento térmico nas paredes quando a cobertura não é isolada pode acarretar aumento da temperatura interna, pois a radiação solar passa pela cobertura e fica aprisionada devido ao isolamento das paredes.

Vedações externas		
Paredes externas		
Pesadas	α* ≤ 0,6	α ≥ 0,6
	U ≤ 3.70	U ≤ 2.50
* α é a absortância à radiação solar da superfície da parede		
Valores mínimos para a capacidade térmica de paredes externas		
Capacidade térmica – CT (kJ/m2.K) ≥ 130		

Tabela 3. Requisitos para paredes externas na Zona Bioclimática 4. Fonte: Adaptado de NBR 15.575 – Parte 4 (ABNT, 2013)

Para as coberturas, a norma 15.575 (ABNT, 2013) recomenda para a ZB 4 os valores apresentados na tabela 4:

Absortância solar (α) e Transmitância térmica (U) da cobertura		Nível de desempenho
α ≤ 0,6	**α ≥ 0,6**	**Mínimo**
U≤ 2,3	**U≤ 1,5**	
α ≤ 0,6	**α ≥ 0,6**	**Intermediário**
U≤ 1,5	**U≤ 1,0**	
α ≤ 0,6	**α ≥ 0,6**	**Superior**
U≤ 1,0	**U≤ 0,5**	

Tabela 4. Requisitos para coberturas na Zona Bioclimática 4. Fonte: Adaptado de NBR 15.575 – Parte 4 (ABNT, 2013)

A absortância solar, aqui introduzida como critério juntamente com a transmitância térmica, permite combinar as duas variáveis, relacionadas à cor e tipo de material das vedações. No caso de paredes e coberturas com cores mais escuras (α ≥ 0,6) a transmitância térmica (U) deve ser menor.

Para maiores informações sobre absortâncias das superfícies de telhas de diferentes tipos, cores e acabamentos, pode-se consultar a publicação de Dornelles (2021).

A APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE CONDICIONAMENTO TÉRMICO PARA A ZB 4 EM CONCURSOS DE PROJETO PARA HIS

3.3

A fim de entender a atual produção arquitetônica com relação ao atendimento à norma do zoneamento bioclimático, pode-se examinar os concursos de projeto, para Habitações de Interesse Social, promovidos recentemente no contexto da zona bioclimática 4, pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal (CODHAB, 2017a). A CODHAB, no período de 2016 a 2018, realizou 14 concursos públicos para projeto de HIS, reforçando sua importância como instrumento preferencial para a contratação de projetos para obras públicas, de forma transparente, democrática e com foco na qualidade da arquitetura (CODHAB, 2017b).

No concurso de 2017, são solicitados 3 tipos de projetos: habitação unifamiliar econômica, casa sobreposta e habitação coletiva econômica, com área e custo máximo definidos:

- **Grupo 1:** 1 quarto, custo máximo R$ 72.000,00
- **Grupo 2:** 2 quartos, custo máximo R$ 85.000,00
- **Grupo 3:** 3 quartos, custo máximo R$106.000,00

Um dos critérios básicos de avaliação dos projetos, segundo o edital (CODHAD, 2017b), são justamente as soluções de conforto térmico e aspectos bioclimáticos, assim como partido, inovações, economia, funcionalidade, etc. Apresentam-se aqui os projetos classificados em primeiro lugar em cada um dos grupos, e uma avaliação qualitativa do desempenho das propostas.

Projeto Grupo 1 – 1 quarto

Arquiteto: Felipe Guimarães Pinheiro e equipe (RJ)

Partido: formal linear, com uso de pátio interno como possibilidade de ventilação e iluminação naturais, mesmo com a expansão prevista

Aberturas para ventilação: a área atende ao previsto pela norma, no entanto as aberturas são na extensão de todo o pé direito, e não fica claro se há possibilidade de abertura total, nem de controle da ventilação, crucial para este clima.

Proteções solares nas aberturas: há previsão de proteções do tipo "muxarabi" sobre as superfícies envidraçadas, o que não garante proteção total da radiação direta, mas certo acesso à luz natural difusa. Há pátios internos e reentrâncias que funcionam como proteção para algumas aberturas.

Materiais e sistemas construtivos: Paredes em blocos de concreto estrutural (U= 2,28, CT=168, atraso 3,7 horas), Cobertura em laje pré fabricada de concreto + telha ondulada de alumínio. (U= 1,06, CT=451, atraso 11,8 horas), Cores: claras, absortância menor que 0,6. **Paredes e coberturas não atendem Atraso recomendado pela norma 15220 para ZB 4**

Área: aprox. 39 m² (expansível para 49 m²)
Custo total: R$ 72.000,000 **Custo por m2:** R$ 1.469,00

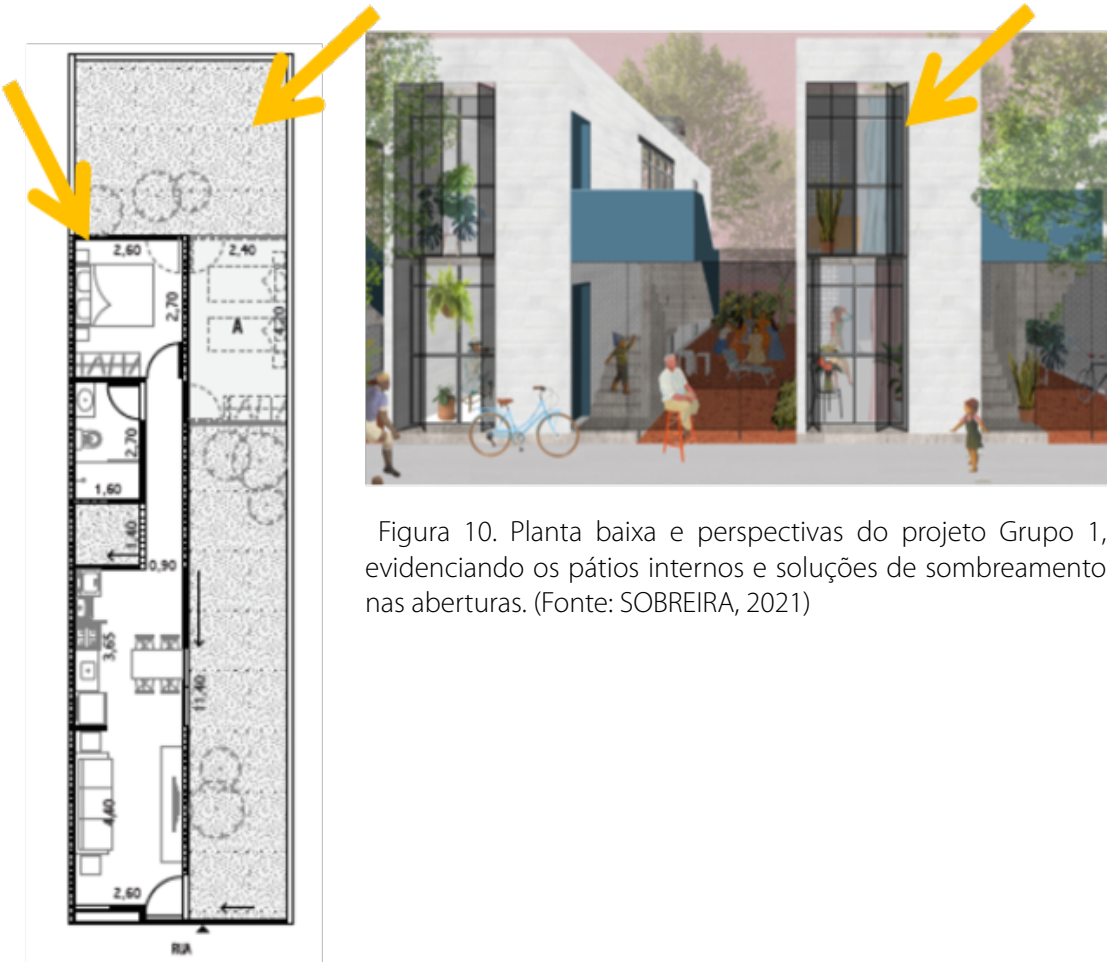


Figura 10. Planta baixa e perspectivas do projeto Grupo 1, evidenciando os pátios internos e soluções de sombreamento nas aberturas. (Fonte: SOBREIRA, 2021)

Grupo 2 – 2 quartos

Arquiteto: Uilian da Luz Marconato e equipe (Santa Maria – RS)

Partido: Sistemas modulares garantem harmonia formal através da proporção entre as partes

Aberturas para ventilação: A área é suficiente conforme a norma, mas dependerá do detalhamento de efetiva abertura das esquadrias.

Proteções solares nas aberturas: não há. Grandes áreas envidraçadas expostas ao sol.

Materiais e sistemas construtivos: paredes em bloco de concreto sem revestimento, 14 cm de espessura (U= 2,28, CT=168, atraso 3,7 horas), cobertura laje com telha de fibrocimento (U= 1,75, CT=561, atraso 9,2 horas) Paredes e coberturas não atendem Atraso recomendado pela norma 15220 para ZB 4

Cores: claras, absortância menor que 0,6 conforme recomendado para esta zona

Área: aprox. 64 m^2

Custo total: R$ 85.000,00 **Custo por m2:** R$ 1.328,00

Figura 11. Planta baixa e perspectivas do projeto Grupo 2, evidenciando as reentrâncias na volumetria (sombreamento). (Fonte: SOBREIRA, 2021)

Grupo 3 – 3 quartos

Arquiteto: Sergio Ricardo Palhares e equipe (MG)

Partido:

Aberturas para ventilação: A área é suficiente conforme a norma, há um maior detalhamento de efetiva abertura das esquadrias e possibilidades de ventilação

Proteções solares nas aberturas: venezianas incorporadas nas janelas, além de alguns beirais e reentrâncias na volumetria, que criam sombreamento.

Materiais e sistemas construtivos: estrutura em concreto armado e alvenaria em bloco de concreto com reboco (U= 2,02, CT=192, atraso 4,5 horas); cobertura laje de concreto e telha de fibrocimento (U= 1,75, CT=561, atraso 9,2 horas) Paredes e coberturas não atendem Atraso recomendado pela norma 15220 para ZB 4

Cores: variadas. Em alguns casos, as cores possuem absortância maior do que 0,6

Área: aprox. 65 m^2

Custo total: R$ 106.000,00 **Custo por m2:** R$ 1.630,00

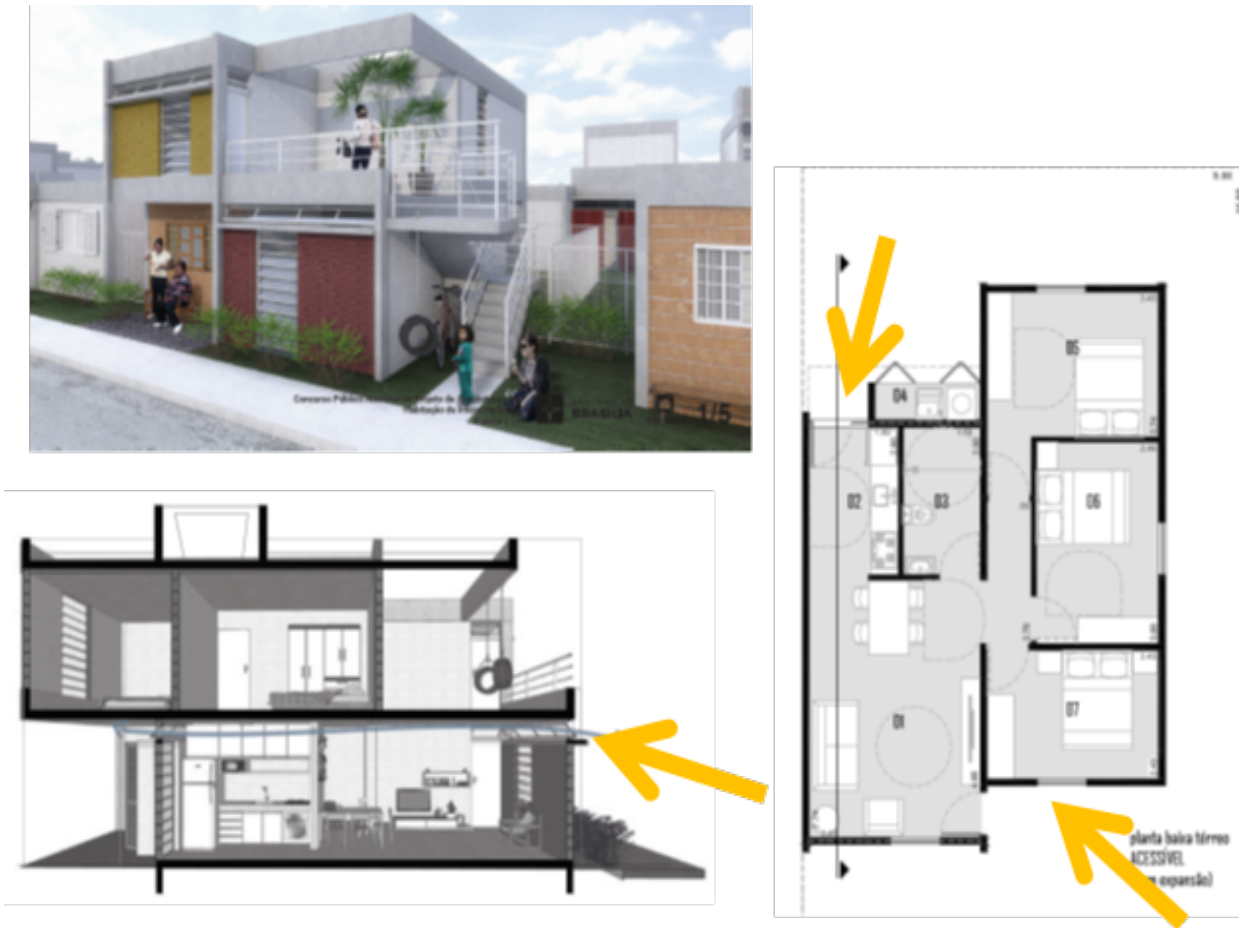


Figura 12. Planta baixa e perspectivas do projeto Grupo 3, evidenciando as reentrâncias na volumetria (sombreamento) e proteções solares nas aberturas. (Fonte: SOBREIRA, 2021)

Pode-se concluir, a partir destas análises, que a experiência de concursos públicos de projeto, com critérios claros quanto a desempenho térmico, pode resultar em projetos com maior qualidade neste sentido. Em se tratando, no caso do concurso analisado, de Estudo Preliminar, destacam-se ainda algumas imprecisões com relação a detalhes construtivos que garantam total cumprimento às normas da ZB. De fato os materiais de paredes e coberturas não estão especificados detalhadamente, portanto a análise foi feita com algumas limitações. É importante, no entanto, considerar a necessidade de acompanhamento nos projetos básico e executivo, a fim de garantir o pleno cumprimento dos aspectos cruciais para o atendimento às normas, inclusive detalhamento dos sistemas construtivos e vedações. Também ficou clara a possibilidade de prover, dentro do orçamento estipulado, soluções criativas e de baixo custo para um bom desempenho térmico das edificações. Houve variação de custos por m2 entre os projetos de maior e menor custo de aproximadamente 20%, O projeto mais caro é efetivamente o projeto que apresenta melhores soluções com relação à ventilação e sombreamento da edificação.

POSSÍVEL IMPACTO FINANCEIRO EM CONSTRUÇÃO CONSIDERANDO AS DIRETRIZES DE ZB EM HIS

3.4

Com relação ao impacto financeiro na construção, relacionado à implantação das diretrizes da zona bioclimática nas HIS, podem-se citar os seguintes aspectos:

Projeto:

Nos custos de um projeto de arquitetura com conceitos bioclimáticos podem ter que incluir um consultor especialista, em muitos casos inclusive com capacidade para realizar simulações computacionais de desempenho termoenergético. Estes custos certamente são mais altos do que os de um projeto convencional. O projeto que leva em conta estas questões em geral é um projeto que integra vários profissionais desde o início, em que ocorre um processo de retroalimentação de decisões até chegar a uma solução adequada. Este processo é particularmente importante no caso de projetos padrão, que poderão ser repetidos em diversas situações climáticas diferentes, e que deveriam, portanto, ser adaptados e ter algumas diferenças para melhorar o desempenho termoenergético. Pode-se estimar um aumento nos custos em torno de 30%, considerando a remuneração do profissional especialista consultor e eventual aquisição de softwares de simulação específicos para o caso em tela.

Implantação e uso do solo:

Em função da melhor orientação solar e em relação à ventilação, em alguns casos o aproveitamento do terreno disponível pode ser menor e implicar em uma perda financeira para o incorporador, especialmente no caso de loteamentos. Também pode ser necessário reduzir o número de unidades, a fim de aproveitar da melhor maneira os recursos passivos como sol e vento. Estes dois fatores podem acarretar um menor número de lotes, menor área construída das habitações, etc. Cabe lembrar, no entanto, que esta perda implica em uma maior qualidade e desempenho das habitações e consequentemente menor consumo energético. No caso de ZEB ou nZEBs, este cuidado poderá significar um ganho para se tornarem edificações de balanço energético nulo.

Aberturas para ventilação natural:

A ventilação natural seletiva (ou controlada), exigida para esta zona bioclimática, exigiria esquadrias melhor detalhadas, para permitir as diversas possibilidades de fluxo de ventilação e controle. Indubitavelmente, esquadrias melhor detalhadas podem ser mais caras, se feitas sob medida para o projeto. O mercado de esquadrias nacional oferece poucas possibilidades de desenho

Proteções solares:

O acréscimo de proteções solares adequadas, tais como brises e beirais, para as aberturas também pode ser um fator de encarecimento da construção. Novamente, aqui é importante ressaltar que soluções criativas de sombreamento e possibilidades de orientação correta, autosombreamento a partir de saliências e reentrâncias da forma da edificação, ou uso de pátios e varandas, podem minimizar este gasto.

Materiais e sistemas construtivos:

Pode haver um acréscimo em função da necessidade de isolamento térmico na cobertura, o uso de cores claras nas fachadas e coberturas, etc. No entanto, estudos anteriores (AMORIM, 1996; SUDBRACK, 2017) mostram que nem sempre os

sistemas construtivos mais caros são os melhores em termos de desempenho térmico. Pode haver situações em que com acréscimos em torno de 25% no custo dos materiais e sistemas construtivos obtém-se o mesmo resultado de desempenho térmico do que sistemas construtivos 90% mais caros (AMORIM, 1996). Obviamente as soluções de inércia térmica, por exemplo, implicam em gastos maiores com materiais, implicando em paredes duplas, blocos maciços, acréscimo de revestimentos, etc.

É importante destacar que o desempenho de um projeto resulta de uma série de variáveis. Não há como se definir a priori um sistema construtivo mais adequado, pois seu desempenho pode ser alterado (para melhor ou para pior) devido a outras variáveis que influenciam no desempenho térmico da habitação – orientação, sombra, ventilação, cores, etc. No entanto, as propriedades recomendadas pelas normas para os sistemas construtivos de paredes e coberturas devem ser seguidas – capacidade térmica, atraso, isolamento térmico e absortância solar .

3.5 À GUISA DE CONCLUSÃO

Reforça-se a importância de que na produção de HIS sejam pensadas, desde o início do projeto, as soluções para atendimento às recomendações para a ZB 4, com análise do clima e das condições oferecidas pelo terreno e programa. Nota-se, na produção de HIS, uma preocupação cada vez maior com estes aspectos, como constata-se pelos projetos analisados.

A atenção a estes pontos é de suma importância para o fornecimento de melhores condições de habitabilidade, eficiência energética e sustentabilidade das edificações e para os usuários das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 15220-1. Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005a.

_____ NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitacões de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005b.

_____NBR 15575-1: **Edificacoes habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2015 a.

_____ NBR 15575-4: **Edificacoes habitacionais — Desempenho. Parte 4:Requisitos para os sistemas de vedacoes verticais internas e externas — SVVIE.** Rio de Janeiro, 2015 b.

_____NBR 15575-5: **Edificacoes habitacionais — Desempenho. Parte 5:Requisitos para os sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2015c.

AMORIM, C. N. D. mestrado

AMORIM, C.; GUINANCIO, C.; IKEDA, D. F. R.; PEIXOTO, E. R. **Qualidade de projeto arquitetonico.** In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elane Ribeiro; GUINANCIO, Cristiane (Org.). Habitacao de interesse social: projetos urbanistico e arquitetonico e qualidade construtiva. Brasilia: UnB, 2015. Cap. 2. p. 102-139.

BLUMENSCHEIN, R. N.; PEIXOTO, E. R.; GUINANCIO, C. **O desenvolvimento da metodologia de avaliacao do PMCMV.** In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elaine Ribeiro; GUINANCIO, Cristiane (Org.). Habitacao de interesse social: projetos urbanistico earquitetonico e qualidade construtiva. Brasilia: UnB, 2015. p. 12-16.

BUTERA, F.; KITIO, V. **ENERGY AND RESOURCE EFFICIENT URBAN NEIGHBOURHOOD DESIGN PRINCIPLES FOR TROPICAL COUNTRIES** Practitioner's Guidebook. UN-Habitat, Nairobi, 2017.

Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal- CODHAB. **Edital do Concurso Público Nacional de Estudo Preliminar de Arquitetura para Habitação de Interesse Social.** Brasília, 2017a. Disponível em: http://www.codhab.df.gov.br/concursos/habitacoes-interesse-social/pagina/bases-do-concurso-6b28789c-6016-430f-9517-eaaae9702410

_____. **Ata dos trabalhos da Comissão Julgadora do Concurso Público Nacional de Estudo Preliminar de Arquitetura para Habitação de Interesse Social.** Brasília, 2017b. Disponível em: https://concursosdeprojeto.org/2017/09/27/premiados-concurso-nacional-unidades-habitacionais-de-interesse-social-df/

DORNELLES, K. **Biblioteca de absortância de telhas. Base de dados para avaliação termoenergética de edifícios**. São Carlos: IAU/USP, 2021.57 p.

GIVONI, 1992 ("Comfort, climate analysis and Building design guidelines". **Energy and Building**, vol.18, july/92

Projeteee http://projeteee.mma.gov.br/. Acesso em 22/02/2021

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura.** Eletrobrás/Procel. Rio de Janeiro, 2014.

LECHNER, N. Heating, cooling, lighting. **Sustainable design methods for architects.** John Wiley and sons, third edition, New Jersey, 2009.

SOBREIRA, F. **Premiados Concurso Nacional Unidades Habitacionais de Interesse Social.** https://concursosdeprojeto.org/2017/09/27/premiados-concurso-nacional-unidades-habitacionais-de-interesse-social-df/ Acesso em 21/02/2021

RORIZ BIOCLIMATICA. ZBBR 1.1. **Classificacao bioclimatica das sedes dos municipios brasileiros, conforme a ABNT NBR 15220-3. 2004**. Disponivel em: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr . Acesso em: 18 fev. 2021

Esta apostila foi elaborada pela Dra. Cláudia Naves David Amorim, e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

4.

Zonas Bioclimáticas 05 e 06:

Sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS

Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Dra. em Engenharia Civil (PPGEC/UFSC, 2004), Professora da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais (EAUFMG), líder do GRA, Grupo de Rotulagem Ambiental do LABCON-UFMG – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído

Objetivo do curso:
Demonstrar a importância da aplicação dos conceitos e regulamentações da ZB 05 e 06 nos projetos de HIS, sua consequência na eficiência e no conforto da habitação.

AS ZONAS BIOCLIMÁTICAS 5 E 6 DE ACORDO COM A NBR 15.220-3:2005

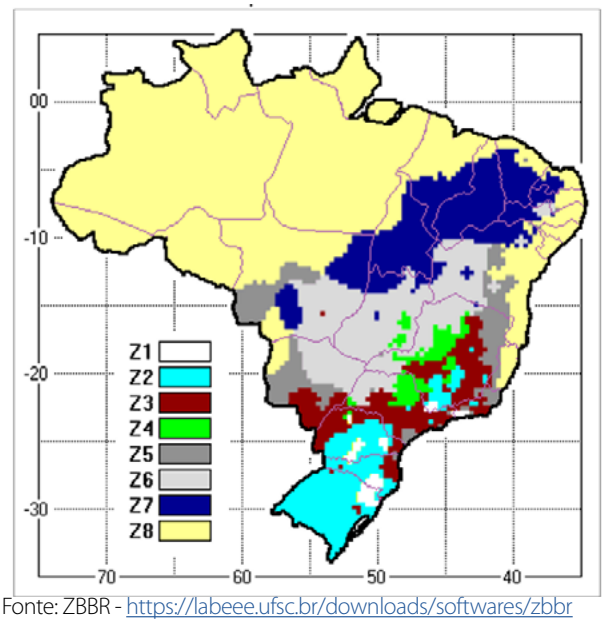
4.1

A NBR 15.220-3:2005 que trata do Desempenho térmico de edificações em sua Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT,2005) define as zonas bioclimáticas a partir da análise de dados climáticos médios mensais plotados sobre carta psicrométricas. Desde 2005 houve evolução significativa na análise climática, especialmente pela existência de mais dados horários medidos sobre o clima de cidades brasileiras que conforma os arquivos climáticos. Estes podem ser usados para se analisar em maior profundidade o clima das cidades e para a predição de desempenho através de simulações computacionais. Com isto o zoneamento bioclimático deverá sofrer atualizações.

No entanto, o atual zoneamento ainda é usado em diversas normas vigentes no território nacional como a NBR 15.575 (ABNT, 2013), e o Regulamento de Eficiência Energética em Edificações, RTQ-R (Brasil, 2012) das quais falaremos mais adiante. A partir da carta psicrométrica este zoneamento traz grupos de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. As estratégias de condicionamento podem ainda ser consideradas atuais, embora as diretrizes construtivas tenham sido atualizadas pelas normas citadas acima, mais novas e que usaram parâmetros de simulação mais modernos.

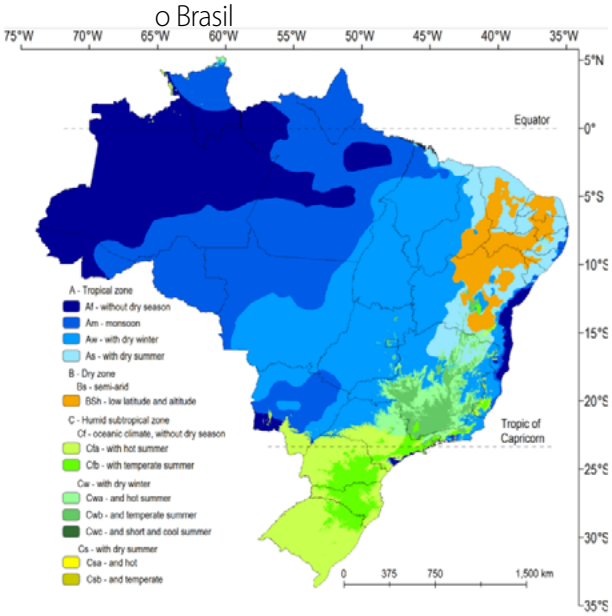
A seguir apresentam-se a localização das Zonas Bioclimáticas 05 e 06 de acordo com a NBR15.220-3:2005 (respectivamente em cinza escuro e em cinza claro na figura 1), a classificação climática de Koeppen-Geiger no país e a plotagem de dados mensais de duas cidades representativas destas zonas sobre a carta psicrométrica. Se analisarmos as manchas apresentadas e as compararmos com as regiões geográficas e com os climas presentes em território nacional, vamos ver que estas zonas são caracterizadas por climas tropicais com inverno ou verão secos (representados pelas cores azul em tom médio na classificação de Koeppen-Geiger apresentada na Figura 2) e que se localizam nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, entre as latitudes de 10° e 25° Sul, estando a ZB5 mais presente nas regiões SE e CO e a ZB6 mais presente na região CO.

Figura 1 - ZB 5 e ZB 6 e em cinza escuro e claro respectivamente



Fonte: ZBBR - https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr

Figura 2 - Classificação Climática Koeppen-Geiger para o Brasil



Fonte: https://br.pinterest.com/pin/655344183271203788

Figura 3 – Carta Bioclimática com as normais climatológicas para a cidade de Santos,SP – ZB5

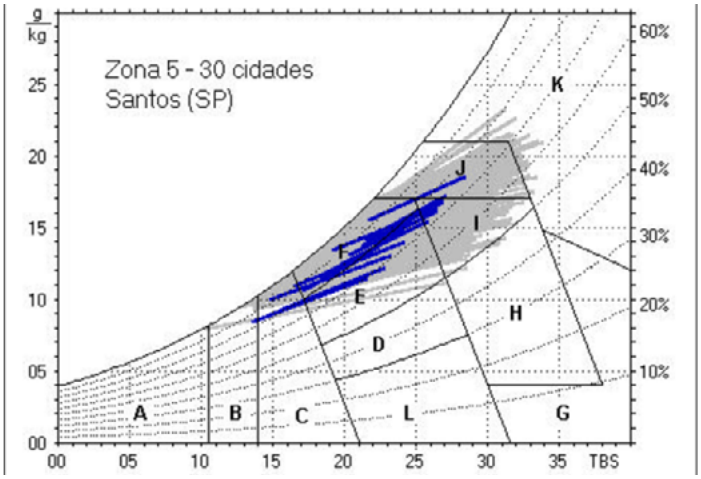
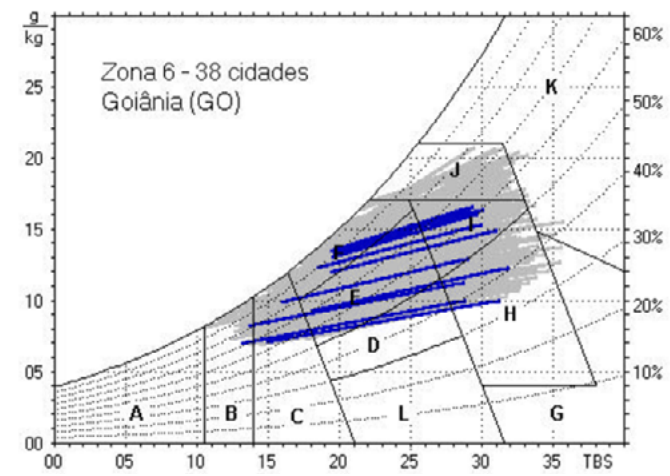


Figura 4 - Carta Bioclimática com as normais climatológicas para a cidade de Goiânia, GO, ZB6

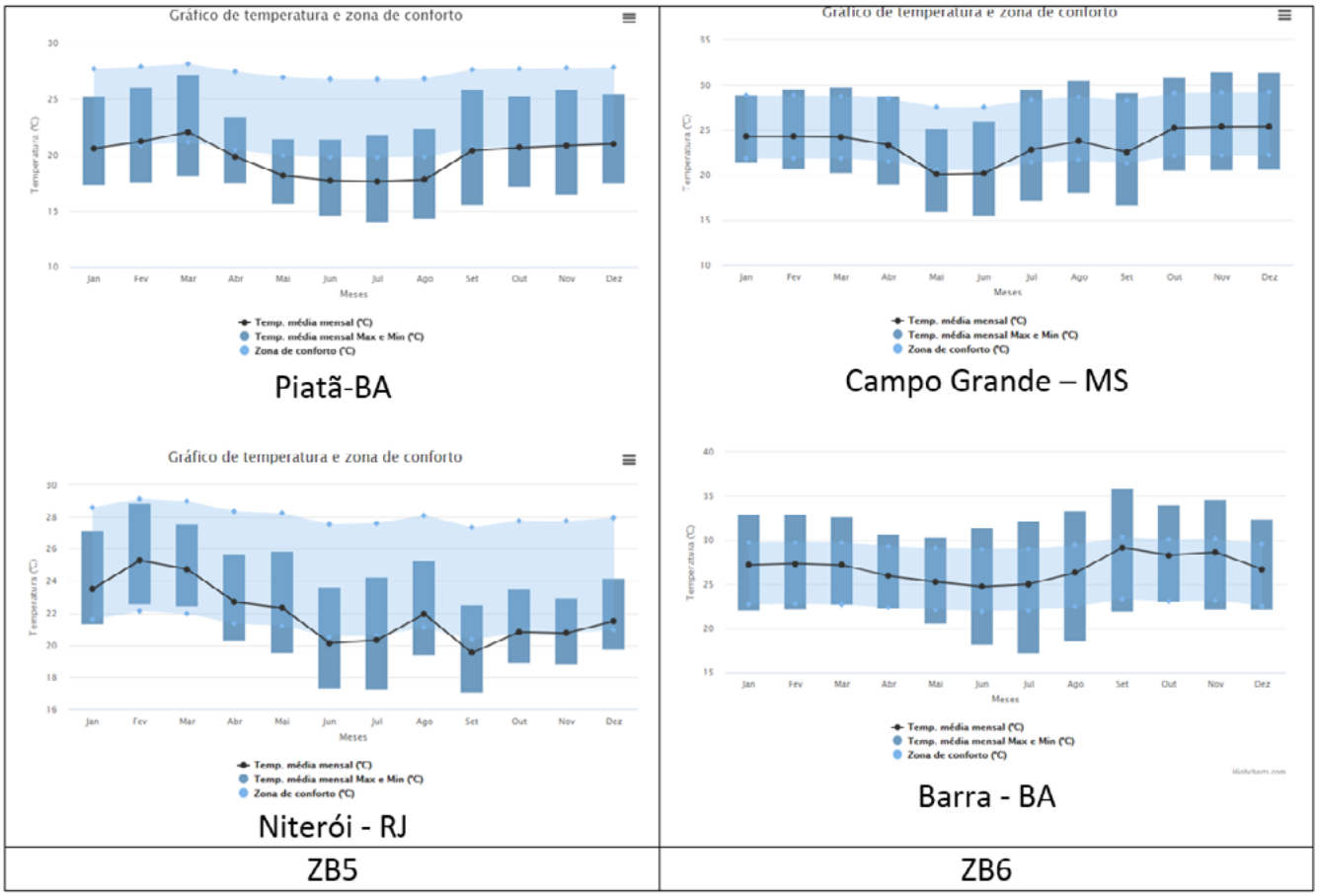


Fonte: NBR15.220-3 (ABNT, 2005)

A partir da análise destes gráficos se pode verificar que uma diferença importante entre as zonas 5 e 6 se dá em função de uma maior ou menor variação da umidade relativa ao longo do ano, sendo a ZB5 caraterizada por umidades relativas mais altas e a ZB6 por um clima mais bem mais seco ao longo do ano.

A análise do comportamento anual das temperaturas de duas cidades de cada uma destas zonas apresentada nos gráficos da Figura 5 permite ver que a Zona Bioclimática 5 é caracterizada por temperaturas dentro da faixa de conforto (em azul-claro) durante o dia apresentando noites mais frescas enquanto a Zona Bioclimática 6 apresenta altas temperaturas durante o dia praticamente o ano todo apresentando noites mais frescas no inverno.

Figura 5 – Temperaturas médias mensais e zona de conforto para 4 cidades das zonas bioclimáticas 5 e 6



Fonte: http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/
Fonte: Extraído de NBR15.220-3 (ABNT, 2005)

As análises para este zoneamento apresentadas na NBR 15.220-3:2005 foram feitas a partir de dados cidades a seguir. Para ambas as regiões as principais estratégias são representadas pelas letras F – Zona de desumidificação (renovação do ar); J - Ventilação cruzada; I + J – Zona de ventilação; K – Zona de refrigeração artificial e para a zona bioclimática 6 a estratégia H + I – Zona de massa térmica de refrigeração também se apresenta.

Tabela 1- Cidades paras as zonas bioclimáticas 5 e 6 usadas na classificação da NBR 15.215-3:2005.

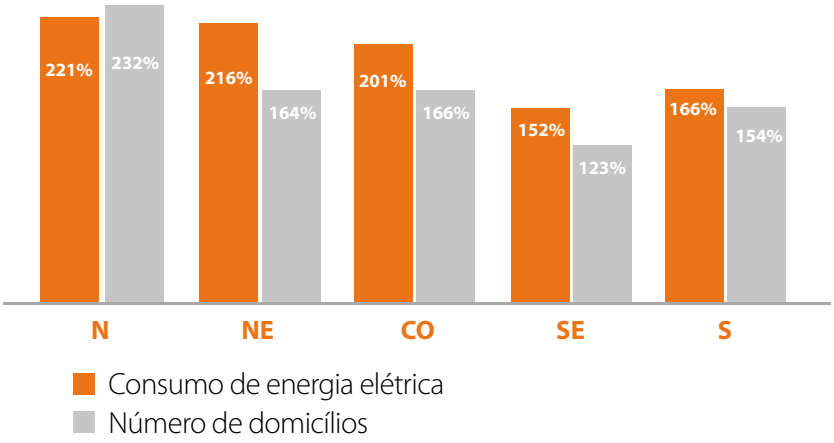
ZB 5	ZB 6
AL Água Branca CFI 5	BA Barra do Rio Grande CDFHI 6
BA Itiruçu CFI 5	BA Bom Jesus da Lapa CDFHI 6
BA Morro do Chapéu CFI 5	BA Caetité CDFI 6
BA Vitória da Conquista CFI 5	GO Aragarças CFHIJ 6
CE Guaramiranga CFI 5	GO Catalão CDFHI 6
MG Aimorés CFIJK 5	GO Formosa CDFHI 6
MG Araçuaí CFIJ 5	GO Goiânia CDFHI 6
MG Capinópolis CFIJ 5	GO Pirenópolis CDFHI 6
MG Cataguases CFIJ 5	GO Posse CDFHI 6
MG Governador Valadares CFIJ 5	GO Rio Verde CDFHI 6
MG Leopoldina CFIJ 5	BA Carinhanha CDFHI 6
MG Pedra Azul CFI 5	BA Correntina CFHIJ 6
MG Teófilo Otoni CFIJ 5	BA Ibipetuba CFHIJ 6
MS Aquidauana CFIJK 5	BA Irecê CDFHI 6
MS Ivinhema CFIJK 5	BA Ituaçu CDFHI 6
MT Cidade Vera CFIJK 5	BA Monte Santo CFHI 6
RJ Barra do Itabapoana CFIJ 5	BA Santa Rita de Cássia CFHIJ 6
RJ Campos CFIJ 5	MG Espinosa CDFHI 6
RJ Escola Agrícola CFIJ 5	MG Frutal CFHIJ 6
RJ Itaperuna CFIJ 5	MG Januária CFHIJ 6
RJ Macaé CFIJ 5	MG João Pinheiro CDFHI 6
RJ Niterói CFIJ 5	MG Montes Claros CDFHI 6
RJ Rio Douro CFIJ 5	MG Paracatu CFHIJ 6
RJ Xerém CFIJ 5	MG São Francisco CFHIJ 6
SC São Francisco do Sul CFIJ 5	MS Campo Grande CFHIJ 6
SP Araçatuba CFIJK 5	MS Coxim CFHIJ 6
SP Iguape CFIJ 5	MS Paranaíba CFHIJ 6
SP Juquiá CFIJ 5	MS Três Lagoas CFHIJ 6
SP Santos CFIJ 5	MT Meruri CFHIJ 6
	PB Monteiro CFHI 6
	PE Triunfo CFHI 6
	RJ Itaperuna CFIJ 5 SP Andradina CFHIJ 6
	SP Catanduva CFHIJ 6
	SP Paraguaçu Paulista CDFI 6
	SP Pindorama CDFHI 6
	SP Presidente Prudente CDFHI 6
	SP Votuporanga CDFHI 6
	TO Paranã CFHIJ 6

Nota-se que a ventilação é estratégia de extrema importância para ambas as zonas bioclimáticas, sendo o sombreamento indicado fortemente para as cidades da Zona bioclimática 6.

O CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL 4.2

Quanto se trata de eficiência energética no setor residencial é de suma importância identificar, atráves de análises de consumo desagregado para o setor os maiores potenciais para implementação de medidas de eficiência energética. Em estudo sobre o setor Abrahão e Souza (2021) analisaram a evolução do consumo de energia elétrica para as regiões brasileiras a partir das pesquisas de posses e hábitos (PPH) de 2005 e 2019 e identificaram que houve aumento de consumo de energia elétrica nas Regiões NE, CO e SE superior ao aumento do número de domicílios como pode ser visto no gráfico a seguir. Tal pode indicar, entre outros, aumento de renda que permitiu a compra de mais aparelhos eletrodomésticos, aumento das temperaturas que leva ao maior consumo de energia elétrica para conforto ambiental, maior uso de celulares e computadores nas residências.

Tabela 2 – aumento percentual do consumo de energia elétrica residencial e do número total de domicílios por região geográfica no Brasil entre 2005 e 2019.



Fonte: Elaborado a partir de compilação feita por Abrahão e Souza, 2021.

A partir da análise desagregada as autoras analisaram que houve aumento significativo de consumo para o uso final dos equipamentos da categoria conforto ambiental e a permanência de uma elevada participação no consumo dos equipamentos da categoria conservação de alimentos (ver Tabela 3). De forma geral houve redução da participação da categoria aquecimento de água em todas as regiões. As autoras indicam que há uma indicação de elevado potencial para implementação de medidas de eficiência energética, no entanto, se ressalta que o padrão de consumo regional deve ser considerado para que os resultados sejam efetivos (ABRAHÃO e SOUZA, 2021).

Os dados apresentados na Tabela 2 mostram que nas regiões das Zonas Bioclimáticas 5 e 6, NE, CO e SE, o uso de ventiladores se intensificou significativamente e que o aumento do uso de aparelhos de ar-condicionado se fez bastante presente nas regiões CO e SE. É possível notar ainda que nestas regiões o uso de freezers para conservação de alimentos teve aumento significativo. (ABRAHÃO e SOUZA, 2021).

A partir da análise destes dados pode-se inferir que estratégias para melhoria do conforto nas residências pode auxiliar na redução do uso de equipamentos para conforto ambiental e que políticas de incentivo para troca de eletrodomésticos, centrados especialmente na categoria de conservação de alimentos devem ser incentivados nestas regiões geográficas, mais marcadamente nas regiões CO e SE.

Na Tabela 2 nota-se ainda que nas 3 regiões analisadas houve, com maior ou menor intensidade, a introdução da iluminação a LED nos últimos 15 anos, mas que a presença de lâmpadas incandescentes (incluídas as lâmpadas dicroicas de mesma tecnologia) ainda se faz notar, mais marcadamente na região Sudeste onde o consumo com esta fonte incandescente ainda é superior ao consumo estimado pelas lâmpadas a LED. É importante ressaltar que a diferença aproximada de eficiência entre estas fontes é de 5 a 10 vezes. Caberiam, portanto, incentivos para a maior introdução desta fonte no setor residencial. Como a vida útil das lâmpadas incandescentes, no entanto, é bem menor se comparada à dos LEDs, e com a proibição em território nacional de sua comercialização, haverá uma tendência natural à sua substituição ao longo do tempo.

Tabela 3 – Estrutura de consumo residencial de energia elétrica por equipamento par aas regiões NE, CO e SE, ano de 2005 e 2019 (Ei, GWh/ano)

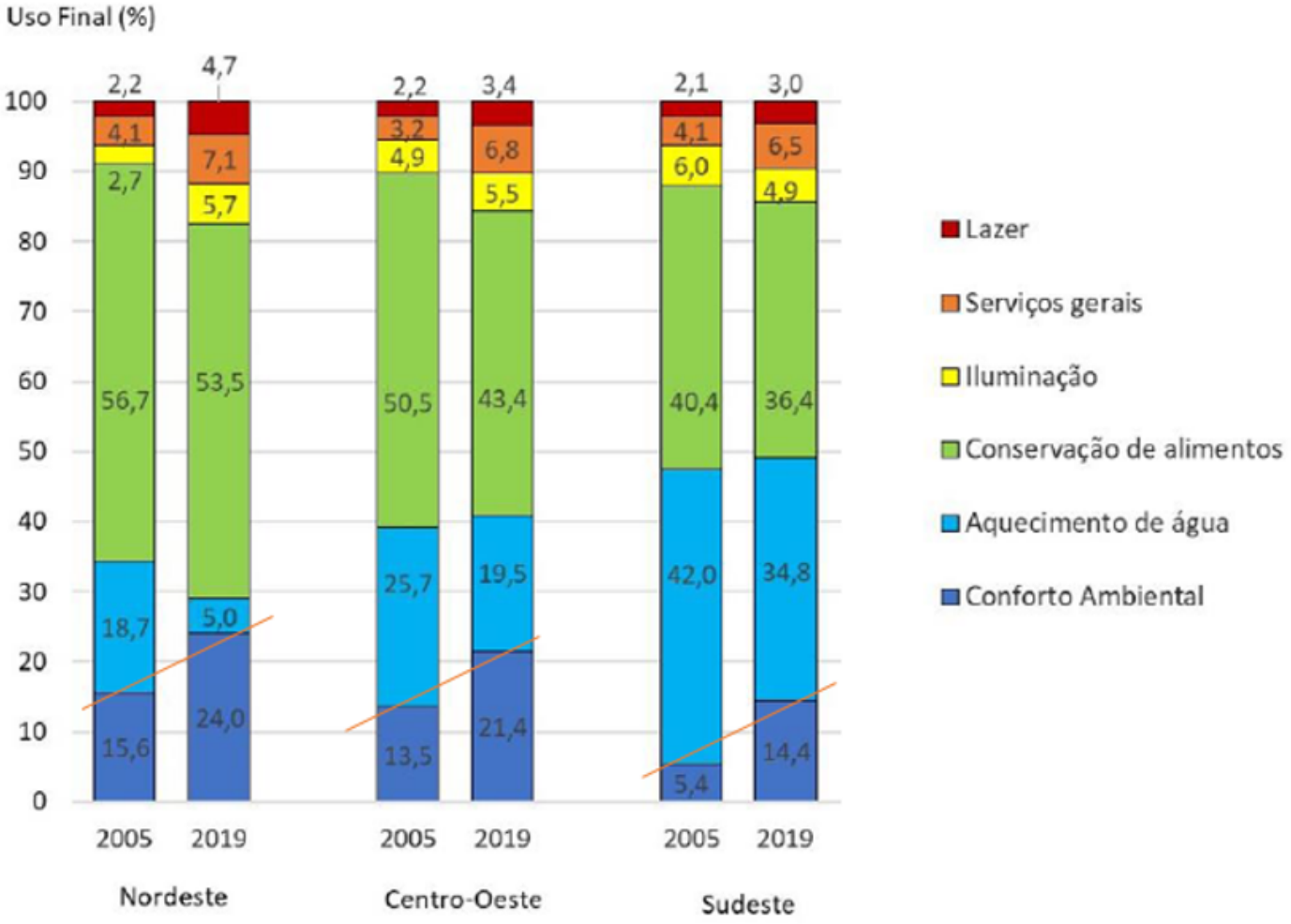
Cate-goria	Região	Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste	
	Ano	2005	2019	2005	2019	2005	2019
	Equipamentos	Ei(GWh)	Ei(GWh)	Ei(GWh)	Ei(GWh)	Ei(GWh)	Ei(GWh)
Conforto Ambiental	Ar Condicionado	688,44	437,23	155,62	449,48	492,45	2516,30
	Ventilador de teto	666,06	61,57	201,11	74,56	1083,38	1695,47
	Ventilador portátil	1369,63	4718,05	447,46	1292,32	1261,48	4087,30
	Aquecedor de ambiente	9,13	0,00	2,68	0,00	8,55	17,35
Aquec. água	Chuveiro - chave verão	1163,42	348,33	677,04	693,90	5308,14	4602,03
	Chuveiro - chave inverno	2110,39	740,21	855,21	965,43	16641,73	15430,35
Cons erv.d e	Freezer	1210,66	782,99	263,35	470,96	2257,04	3956,10
	Geladeira	8713,06	10874,93	2747,27	3222,36	18836,03	17055,65
Iluminação	Incandescente habitual (t1)	219,58	142,73	180,91	78,55	2250,63	1014,73
	Incandescente eventual (t2)	43,06	0,38	24,80	0,11	172,83	2,85
	Fluorescente habitual (t1)	181,16	680,36	69,54	214,17	649,18	866,11
	Fluorescente eventual (t2)	19,87	1,18	8,29	0,41	32,40	2,52
	Dicróica e outras habitual (t1)	4,63	10,60	5,23	1,05	28,67	101,27
	Dicróica e outras eventual (t2)	0,77	0,00	0,64	0,00	2,39	0,30
	LED habitual (t1)	-	409,03	-	169,82	-	836,38
	LED eventual (t2)	-	0,64	-	0,34	-	2,52

Fonte: Adaptado de Abrahão e Souza, 2021.

Como estratégia construtiva para redução do uso final de iluminação seria importante dotar os ambientes de farto acesso à luz natural durante o dia além de incentivar a aquisição de lâmpadas de maior eficiência. Como veremos adiante, o RTQ-R (BRASIL,2012) propõe a ampliação de aberturas para luz natural com a garantia mínima de 12,5% da área do piso.

Finalmente cumpre ressaltar que, como pode ser visto na Figura 6, o consumo para aquecimento de água nestas regiões ainda se faz bastante relevante especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, devendo haver políticas para introdução sistemas de aquecimento solar térmico.

Figura 6 – Consumo residencial desagregada por uso final para as regiões NE, CO e SE anos de 2005 e de 2019.



A NBR 15.575 E RTQ-R – PRESCRIÇÕES PARA COMPONENTES CONSTRUTIVOS 4.3

A NBR 15.575 "Edificações habitacionais — Desempenho" desde 2013 cumpre importante papel no país estabelecendo critérios e métodos de avaliação para diversos sistemas das edificações residenciais. Entre eles avalia o Desempenho Térmico e em março de 2021 foi aprovada uma nova versão da norma na área de Desempenho Térmico e espera-se para 2021 a aprovação de um novo método para análise de iluminação natural.

Já o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência energética em edificações, RTQ-R (BRASIL, 2012), classifica as unidades habitacionais autônomas ou em edificações multifamiliares de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

As prescrições de desempenho mínimo entre estas normas são semelhantes de serão apresentadas a seguir, recomendando-se usar os valores mais restritivos se houverem diferenças entre as duas normas. O não atendimento junto à NBR 15.575 de desempenho leva à não conformidade da habitação enquanto o não atendimento a limites prescritivos pelo RTQ-R leva à limitação de classificação em no máximo C para os ambientes de permanência prolongada.

A Tabela 3 apresenta as recomendações prescritivas para as zonas bioclimáticas 5 e 6 para os sistemas de parede aprovados na nova versão da NBR15.575 e pelo RTQ-R.

Tabela 4 – Limites para transmitância térmica das paredes externas pela NBR15.575 e pelo RTQ-R

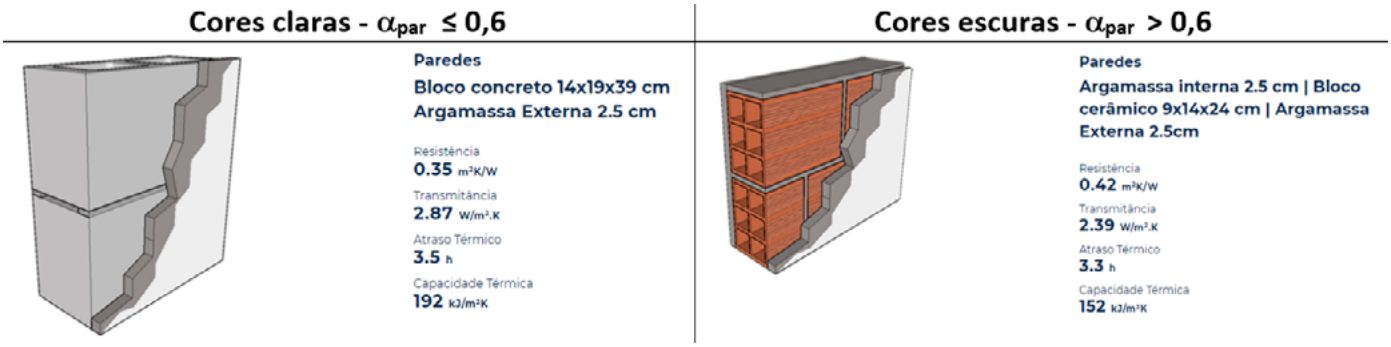
Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
Parede	α ≤ 0,6	U ≤ 3,70	CT ≥ 130
	α > 0,6	U ≤ 2,50	CT ≥ 130
Cobertura	α ≤ 0,6	U ≤ 2,30	Sem exigência
	α > 0,6	U ≤ 1,50	Sem exigência

α_{par} é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.

NOTA Os limites do α_{par} estabelecidos definem a transmitância térmica de referência que deve ser atendida pelas paredes externas.

Exemplos de paredes que atendem a estas prescrições são apresentadas na figura 7. Outras paredes podem ser encontradas no site do PROJETEE, permitindo este site inclusive o cálculo de sistemas construtivos diferentes daqueles apresentados no site através de sua calculadora de propriedades térmicas.

Figura 7 – Exemplos de paredes que atendem as prescrições para as Zonas 5 e 6 para cores externas claras e para cores escuras.

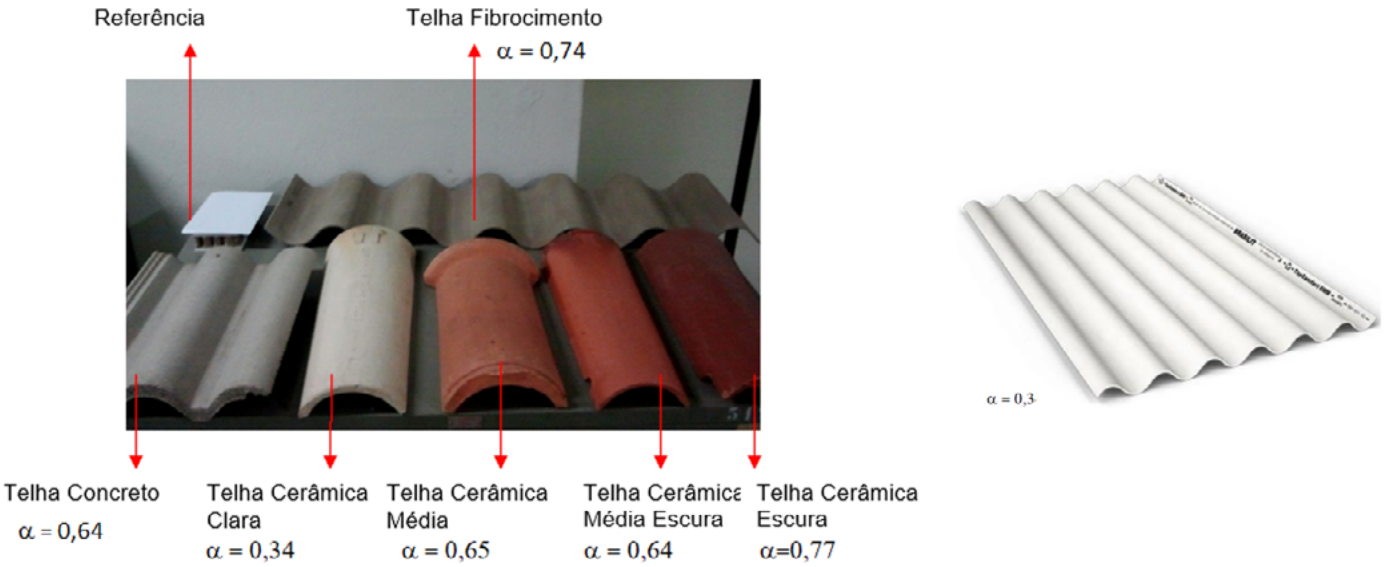


Fonte: Projetee - http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/

Paredes com transmitâncias maiores que as indicadas na Tabela 3 devem ser analisadas pelo método de simulação computacional descrito na Norma como é o caso da parede de concreto. Verifica-se que para estas zonas paredes de bloco apenas com revestimento externo de 2,5 cm, desde que pintados de cores claras atendem aos requisitos. Já para paredes com cores mais escuras, alvenaria com tijolo cerâmico de 9 cm de espessura e revestimentos de pelo menos 2,5 cm externo e interno atendem aos requisitos. É importante ressaltar que blocos de concreto possuem maior capacidade térmica atendendo mais facilmente aos requisitos de 130 kJ/m2K que os blocos cerâmicos. Estes, por sua vez ao terem mais furos e com isto mais câmaras de ar, reduzem a passagem de calor, atendendo mais facilmente a limites de transmitância térmica. Deve-se portanto, para cada material analisar a necessidade de uso de revestimento para se chegar as características necessárias tanto para transmitância quanto para capacidade térmica.

As coberturas têm em ambas as normas limites para a transmitância térmica de cobertura em função de sua absortância. De forma geral, telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento amianto possuirão absortâncias superiores a 0,6. Moreno (2013), avaliou a absortância de telhas comumente usadas em HIS como pode ser visto na figura 8. Absortâncias menores que 0,6 podem ser obtidas pelo uso de telhas cerâmicas claras ou pelo uso de telhas fibrocimento brancas hoje fornecidas pela indústria.

Figura 7 – Absortância de telhas comumente usadas em HIS

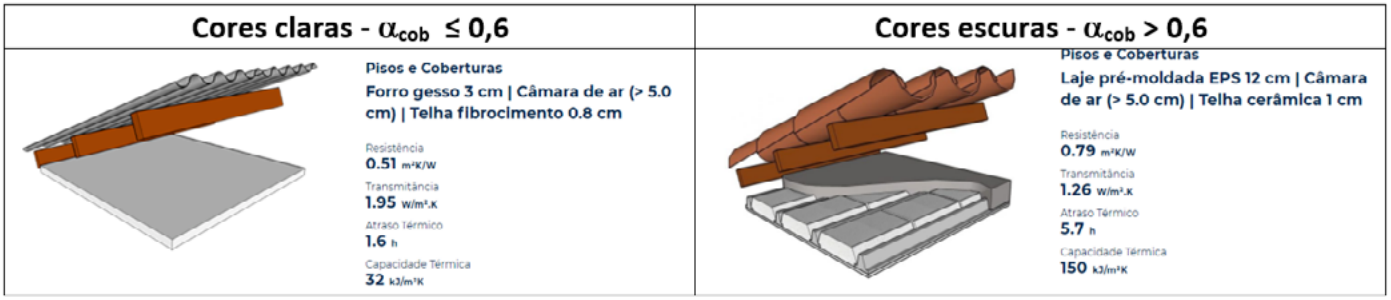


Fonte: (a) adaptado de Moreno, 2013, (b) Brasilit.

A figura 9 traz exemplos de coberturas que atendem aos requisitos para cores claras e para cores escuras. Verifica-se que o uso de coberturas com forro ou com laje, desde que a superfície externa seja clara atendem aos requisitos de norma. No entanto, no caso de superfícies externas com absortâncias solares acima de 0,6, tem-se que usar mão de sistemas de isolamento térmico para obtenção de transmitâncias de no máximo 1,5 W/m2K, como pode ser visto no exemplo. Este isolamento pode ser obtido por meio de materiais isolantes ou de matérias de baixa emissividade que aumentem a resistência da câmara de ar entre a telha e o forro. Podem ser testadas outras soluções por simulação computacional também.

Nota-se claramente que em ambos os regulamentos há um incentivo indireto para uso de cores claras nas superfícies externas pela diminuição das exigências de transmitância térmica tanto de coberturas quando de paredes o que corresponde às exigências de climas quentes ou com estação quente como no caso das ZB 5 e 6.

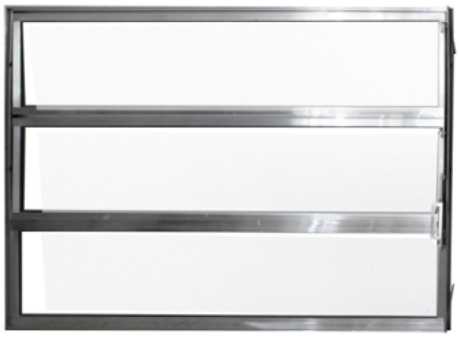
Figura 9 – Exemplos de coberturas que atendem as prescrições para as Zonas 5 e 6 para cores externas claras e para cores escuras.



Fonte: Projetee - http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/

Há também determinações de áreas mínimas para ventilação natural dos ambientes sendo de 7% de área efetiva de ventilação em relação à área do piso para a NBR15.575 e de 8% para o RTQ-R para estas zonas bioclimáticas. Sugere-se, portanto, sempre que possível que o percentual mínimo seja de 8% de forma a atender os requisitos para as 2 normas. Dados sobre o percentual de abertura de diversos tipos de abertura podem ser encontrados no Anexo 1 do RTQ-R. Na figura 10 apresentam-se dois tipos de abertura mais comuns para as edificações de interesse social. A partir dos percentuais efetivos de abertura para ventilação e sabendo-se a área do vão da abertura, pode se calcular para determinada abertura o percentual de área do piso para ventilação.

Figura 10 – percentuais de iluminação de ventilação para aberturas de janelas de duas folhas e janelas basculantes.

Tipo de janela	Imagem	% de abertura para iluminação	% de abertura para ventilação
De correr de duas folhas em vidro		80	45
Basculante		65	70 (i=45°); 90 (i=90°)

Fonte: Adaptado de RTQ-R (BRASIL, 2021)

Tanto na NBR 15.575:2021 quanto no RTQ-R há incentivo para uso de sombreamento nas aberturas nestas zonas bioclimáticas sendo este incentivo pela NBR 15.575:2021 dado pela possibilidade de aumento de área conforme a tabela 5 e no RTQ-R pela introdução de uma variável denominada somb que tem seu valor máximo estabelecido para o uso de venezianas nas janelas (somb = 1) e que pontua a presença de sombreamento em função da cidade com até 0,5 pontos).

Pela NBR 15.575:2021 há limitação de área envidraçada para os ambientes de permanência prolongada (APP)sendo que APPs com área útil de até 20 m^2 devem possuir um percentual de abertura máximo dos elementos translúcidos de 20%. Nos APPs com área útil superior a 20 m^2, a área máxima dos elementos translúcidos deve ser de 4 m^2. Há a possibilidade do aumento desta área conforme exemplificado na tabela 5 não apenas pelo uso de sombreamento mas também pelo uso de vidros de controle solar – estes praticamente inexistentes nas habitações de interesse social. Outras áreas devem ser avaliadas por simulação computacional.

Tabela 5 - Percentual de abertura máximo dos elementos translúcidos por ângulo de sombreamento e por fator solar de vidros para as ZB5 e ZB6

Ângulo de sombreamento (°)	ZB 5		ZB 6		Fator solar vidro*	ZB 5	ZB 6
Fachada	Norte	Leste e Oeste	Norte	Leste e Oeste	**0,68**	**20,5**	**20,0**
20	**20,5**	**20,0**	**21,5**	**20,0**	**0,66**	**21,0**	**20,5**
25	**22**	**21,0**	**23,0**	**20,5**	**0,64**	**21,5**	**21,0**
30	**24,5**	**22,5**	**25,5**	**22,0**	**0,62**	**22,0**	**22,0**
35	**27,0**	**24,0**	**28,0**	**24,0**	**0,60**	**23,0**	**22,5**
40	**29,5**	**26,0**	**30,5**	**26,0**	**0,58**	**23,5**	**23,0**
45	**33,0**	**28,0**	**33,5**	**28,0**	**0,56**	**24,5**	**24,0**

Fonte: adaptado de NBR 15.575 (ABNT, 2021) * na norma há outros valores para fatores solares mais baixos, os valores colocados aqui são exemplificativos.

O sombreamento pode ser obtido tanto pelo uso de beirais maiores quanto pelo uso de venezianas. Os beirais, de forma geral têm diminuído de tamanho pela falta de exigência mínima das prefeituras municipais e tal ausência poderia ser regulada pelos códigos de obras dos municípios. A presença de beirais não apenas melhora as condições de conforto térmico em climas quentes como os climas brasileiros de forma geral, mas também protege as paredes de respingos, evitando o desgaste prematuro da pintura das edificações, aumentando a vida útil das mesmas. Já o uso de venezianas, mais caras mas de melhor desempenho se considerado o escurecimento noturno com a possibilidade de manutenção da ventilação podem trazer benefícios além do conforto nos quartos pela consequente economia de energia para resfriamento noturno. Deve-se, no entanto, atentar para a redução da admissão de luz natural no espaço pelo uso janelas com folhas de correr, devendo a área de iluminação ser devidamente avaliada. Uma solução para a manutenção dos níveis de iluminação e ventilação e para garantir adequado sombreamento é a utilização de janelas com venezianas de enrolar, cujo preço ainda não é competitivo para habitações de interesse social, infelizmente.

Figura 11 – Percentuais de iluminação de ventilação para aberturas de janelas com veneziana, ideais para uso em quartos.

Tipo de janela	Imagem	% de abertura para iluminação	% de abertura para ventilação
De correr de três folhas, sendo 2 em vidro e uma em veneziana		45	45
De correr de duas folhas em vidro com veneziana de enrrolar		75	40

Fonte: Adaptado de RTQ-R (BRASIL, 2021)

4.4 CONCLUSÃO

Pensar em qualidade para a Habitação de Interesse Social é de suma importância em um país cujo déficit habitacional é estimado em 4,8 milhões de unidades, e em especial para as regiões geográficas abrangidas por estas 2 zonas bioclimáticas que representam conjuntamente 78% deste déficit (FJP, 2020). Pensar em eficiência energética neste setor significa analisar seu consumo por tipo de clima e região e propor políticas em diversos âmbitos que vão da troca de equipamentos ineficientes à instalação de sistemas como o de aquecimento de água que possui no Brasil excelente viabilidade técnico financeira, mas sobretudo garantir boas condições de habitabilidade com adequação da edificação ao clima e com isto reduzir a necessidade de meios de climatização artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15575-1:2013 Emenda 1:2021 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. **Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200532

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: ano-base 2005 – Classe Residencial.** Rio de Janeiro: Eletrobras, Procel, 2007.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial. Relatório Técnico**, 2019. Eletrobras, Procel, 2019. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao. Acesso em: 09/04/2021.

FJP – FUNDAÇÃO JOÃO INHEIRO, **Deficit Habitacional no Brasil – 2016-2019**, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Relatorio-Deficit-Habitacional-no-Brasil-2016-2019-v1.0_compressed.pdf. Acesso em 12/04/2021.

Moreno ACR. **Minha casa minha vida: análise de desempenho térmico pela NBR 15220-3, NBR 15.575, selo casa azul e RTQ-R**. Belo Horizonte. Dissertação, PPACPS-UFMG; 2013.

Esta apostila foi elaborada pela Roberta Vieira Gonçalves de Souza, e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

5.

Zonas Bioclimáticas 07:

Sua importância, aplicação e regulamentação em projetos de HIS

Juliana Oliveira Batista, Dra. em Engenharia Civil (PPGEC/UFSC, 2011), Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universida-de Federal de Alagoas (FAU/UFAL), líder do GECA – Grupo de Estudos em Conforto Ambiental da FAU/UFAL.

Objetivo do curso:
Demonstrar a importância da aplicação dos conceitos e regulamentações da ZB 07 nos projetos de HIS, sua consequência na eficiência e no conforto da habitação.

Conteúdo programático do curso:
Detalhamento da zona bioclimática 07, baseado no clima da região da mesma;
Práticas relevantes na implementação dos conceitos de ZB;
Histórico da construção civil de HIS e a observância "empírica" dos conceitos de conforto; Possível impacto financeiro em construção tomando em conta as normativas de ZB em HIS.

INTRODUÇÃO – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO AMBIENTAL NO PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (HIS)

5.1

Comecemos compreendendo alguns conceitos fundamentais: eficiência energética, conforto ambiental e habitação de interesse social.

Eficiência energética:

O conceito de eficiência energética na arquitetura é definido por Lamberts, Dutra e Pereira como

> *[...] um atributo inerente a edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia. (2014, p. 5)*

O emprego de estratégias passivas de condicionamento térmico minimiza ou até evita a dependência de sistemas artificiais de climatização e iluminação na arquitetura, reduzindo o consumo de energia. Praticar projeto bioclimático em habitações de interesse social representa um passo fundamental para produzir residências energeticamente eficientes. Além disso, barateia os custos de operação ao longo da vida útil da edificação, fato relevante para um público cuja renda familiar é inferior a dois salários mínimos.

Conforto ambiental:

O Conforto Ambiental pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, alem de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 43)

Segundo Schimid (2005, p.13), "O conforto ambiental só pode ser compreendido dentro do conceito mais abrangente de arquitetura." O autor acrescenta que conforto ambiental:

> *[...] só encontra sentido pleno enquanto integrado ao conceito de espaço arquitetônico. Conforto ambiental reúne o alívio da dor e a liberdade de outras dores (comodidade), e ainda a transcendência da dor mediante o encanto de outros sentidos. Tem, portanto, necessariamente uma expressividade. Nela, confundem-se o contexto ambiental e os contextos corporal, psico-espiritual e sócio-cultural do conforto. (2005, p. 324).*

A NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações, em sua parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005) aborda questões diretamente vinculadas ao conforto térmico, uma das vertentes do conforto ambiental. Segundo Givoni (1992, p. 11), "[...] é possível delimitar uma zona de conforto, ou seja, um conjunto de condições climáticas dentro das quais a maioria das pessoas não sentirão desconforto térmico, seja por calor ou por frio." (tradução livre).

A NBR 15575 - Edificações habitacionais: Desempenho, é uma norma composta por seis partes, publicada originalmente em 2013, que introduziu na construção civil brasileira uma abordagem diferenciada de outras normativas até então existentes: o conceito de desempenho. Esta norma define "[...] as propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independentemente do material constituinte." (CBIC, 2013, p. 29). Nesse caso, "[...] deve-se desenvolver e aplicar o produto para que atenda às necessidades da construção." (CBIC, 2013, p. 29).

Em relação às suas partes constituintes:

Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio,

segurança no uso e operação), ha-bitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental). (CBIC, 2013, p. 20).

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) é mencionado diretamente pela NBR 15575 e a compreensão e aplicação dos conceitos propostos pelo ZBB é indispensável para o cumprimento de requisitos normativos presentes nas partes 1, 4 e 5 da norma de desempenho, respectivamente intituladas: Requisitos gerais; Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE e Requisitos para os sistemas de coberturas.

Habitação de interesse social:

O Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, foi instituído pela Lei Federal nº 11.124 de 16 de junho de 2005 e tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para a população de baixa renda, que compõe a quase totalidade do déficit habitacional do País (BRASIL, 2020).

O que seria "uma moradia digna para a população de baixa renda"?

Podemos partir do princípio que uma moradia digna equivale a uma habitação que possua qualidade.

Buscando reconhecer atributos definidores da qualidade da Habitação de Interesse Social, podemos citar as contribuições de diversos pesquisadores brasileiros, tais como aquelas reunidas por Blumenschein, Peixoto e Ganancio (2015), enumeradas a seguir:

Qualidade do projeto urbanístico, sustentabilidade e qualidade da forma urbana (ANDRADE; LEMOS, p. 20 – 99)

envolve as dimensões ambiental, social, econômica, cultural e emocional da sustentabilidade;

Qualidade do projeto arquitetônico (AMORIM; GUINANCIO; IKEDA; PEIXOTO, p. 102 – 139)

abrange os conceitos de flexibilidade, funcionalidade, habitabilidade, uso sustentável de energia e da água; acessibilidade e satisfação do usuário;

Qualidade construtiva (BUSON; ZANONI, p. 142-167)

inclui a segurança da unidade habitacional, habitabilidade, sustentabilidade construtiva, responsabilidade empresarial e satisfação do usuário com a qualidade construtiva.

ONDE FICA A ZONA BIOCLIMÁTICA 07?

5.2

A Zona Bioclimática 07 ocupa 12,6% do território brasileiro. Assim como a ZB06, sua extensão é menor apenas do que a da ZB08 (Figura 1). Das 330 cidades cujos climas foram classificados para a versão original da NBR 15220-3, 39 localizam-se na ZB07 (Figura 2). Para delimitar cada uma das zonas bioclimáticas e respectivos requisitos mínimos aceitáveis de desempenho térmico para habitações de interesse social, Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) dividiram o território brasileiro e indicaram estratégias de condicionamento térmico passivo desti-nadas a elevar os níveis de conforto térmico. Embora situadas na mesma zona bioclimática, cada cidade vai possuir especificidades. Barbirato, Souza e Torres (2016, p. 23 – 50) descrevem tais especificidades como fatores climáticos globais e locais:

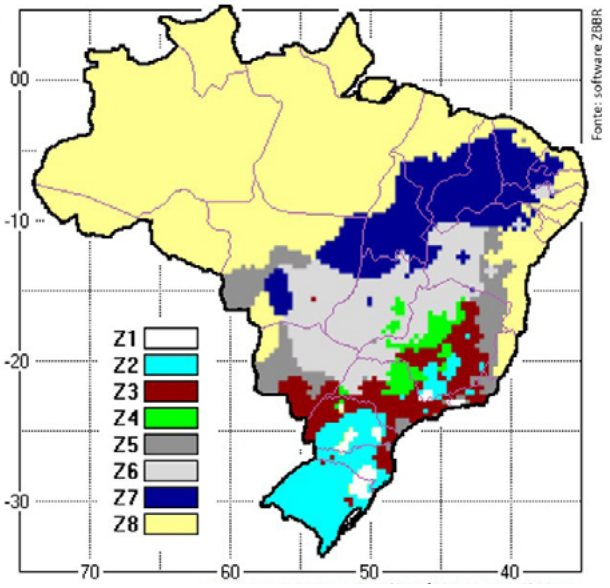


Figura 1 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro
Fonte: ZBBR (2004)

Figura 2 – Cidades classificadas na Zona Bioclimática 07 apresentadas na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).Fonte: Adaptado de ABNT (2005) e Google (2020)

Fatores climáticos globais:

Radiação solar: sua maior influência ocorre na distribuição da temperatura do globo. Quanto maior a altitude do sol, mais concentrada será a intensidade da radiação por unidade de área e menor será o albedo (razão entre a quantidade de radiação que é difundida ou refletida por uma superfície e a quantidade de radiação incidente sobre a mesma);

Latitude: a radiação solar diminui com o aumento da latitude (distância em relação a linha do Equador), ocasionando aquecimento diferenciado no globo terrestre;

Altitude: quanto maior a elevação em relação ao nível do mar, menor a temperatura do ar devido a menor concentração de partículas sólidas e líquidas no ar;

Regime dos ventos: resultante das correntes de convecção presentes na atmosfera, destinadas a igualar o aquecimento diferencial das diversas zonas no globo terrestre. O Quadro 1 ilustra as incidências de vento predominantes ao longo dos meses do ano em 35 das 39 cidades pertencentes a ZB07 citadas pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). No entanto, a forma urbana pode alterar completamente a distribuição dos ventos em um determinado local (ver item Revestimentos de solo);

Quadro 1 – Direção predominante do vento ao longo do ano nas cidades classificadas na ZB07.
Fonte: Adaptado de INMET (2020)

Normal Climatológica do Brasil 1981-2010														
Direção Predominante do Vento (Pontos cardeais e colaterais)														
Estrategias	Nome da Estação	UF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DFHIJ	BARREIRAS	BA	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	NE	NE	Calma	Calma
FHIJK	PAULO AFONSO	BA	SE	SE	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
DFHI	REMANSO	BA	Calma	Calma	Calma	Calma	E	E	SE	E	SE	SE	Calma	Calma
FHI	SENHOR DO BONFIM	BA	Calma	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
DFHIJ	BARBALHA	CE	NE	Calma	NE	Calma	SE	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE
DFHIJ	CAMPOS SALES	CE	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NE	NE
DFHIJ	CRATEÚS	CE	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
DFHIJ	IGUATU	CE	NE	NE	NE	E	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE	NE
FHIJK	MORADA NOVA	CE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
FHIJK	QUIXERAMOBIM	CE	NE	NE	NE	E	Calma	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
FHIJK	SOBRAL	CE	NE	NE	NE	Calma	Calma	NE	E	E	NE	NE	NE	NE
DFHIJ	TAUÁ	CE	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	E	SE
FHIJ	GOIÁS	GO	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	NE	NE	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma
FHIJK	BARRA DO CORDA	MA	NE	NE	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	NE	NE	Calma	NE
FHIJ	CAROLINA	MA	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	E	E	NE	NE	Calma	Calma	Calma
FHIJK	CAXIAS	MA	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	NE	NE
FHIJK	IMPERATRIZ	MA	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	NE	Calma	Calma	Calma
DFHI	MONTE AZUL	MG	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	C	Calma	Calma	Calma
FHIJK	CUIABÁ	MT	N	N	N	S	S	S	Calma	S	Calma	N	N	N
FHIJK	DIAMANTINO	MT	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma
FHIJK	SÃO GONÇALO	PB	NE	E	NE	E	SE	SE	SE	SE	E	E	E	E
FHI	ARCOVERDE	PE	F	F	F	SF	SF	SF	SF	SF	SF	F	F	F
DFHI	CABROBÓ	PE	SE	SE	SE	SE	SE	[redacted]	SE	SE	SE	SE	SE	E
DFHI	PETROLINA	PE	SE	E	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	E
DFHIJ	BOM JESUS DO PIAUÍ	PI	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	S	S	S	S	Calma	Calma	Calma
FHIJK	FLORIANO	PI	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	SE	SE	SE	SE	Calma	Calma	Calma
DFHIJ	PAULISTANA	PI	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
DFHIJ	PICOS	PI	NE	NE	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE
FHIJK	TERESINA	PI	NE	NE	NE	Calma	Calma	SE	SE	SE	Calma	E	Calma	Calma
FHIJK	CRUZETA	RN	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	E	NE
FHIJ	FLORÂNIA	RN	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	NE	NE
FHIJK	MOSSORÓ	RN	NE	NE	Calma	Calma	Calma	SE	SE	SE	NE	NE	NE	NE
FHIJK	PEIXE	TO	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	SF	Calma	SF	Calma	Calma	Calma	Calma
FHIJK	PORTO NACIONAL	TO	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma
DFHIJ	TAGUATINGA	TO	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma	Calma

Massas d'água: a proximidade de massas d'agua influencia de modo relevante o efeito de aquecimento nas cidades, contribuindo para a redução das temperaturas extremas diurnas e estacionais devido a diferente capacidade de armazenamento de calor em relação às massas de terra.

Fatores climáticos locais:

Topografia: influencia na redução da temperatura, quando ocorrem mudanças na elevação e orientação do sítio, devido a diferença na radiação solar incidente. Um relevo acidentado pode também atuar como barreira à ventilação, modificando, muitas vezes, as condições de temperatura e umidade em escala regional.

Revestimentos do solo: podem ser massas d'agua, cobertura vegetal ou revestimentos artificiais de urbaniza-ção, que apresentam implicações climáticas de caráter local. No ambiente urbano, as diferentes capacidades de reflexão e absorção de luz e calor dos diversos materiais (albedo) dependem diretamente de suas propriedades físicas como densidade, textura e cor. Todos esses fatores influenciam consideravelmente no balanço de energia térmica do meio urbano, contribuindo para um aumento da temperatura do ar (expresso pelo albedo, absorção e emissividade).

“QUEM” FAZ PARTE DA ZONA BIOCLIMÁTICA 07?

5.3

A classificação bioclimática de cada cidade decorre das estratégias a ela aplicáveis. O método adotado para esta classificação baseou-se na aplicação das planilhas de Mahoney e na adaptação da Carta Bioclimática de Givoni, resultando em 10 estratégias, identificadas com letras de A a L, que podem ser combinadas entre si. As letras D e E, quando associadas com a classificação da cidade, indicam a existência de períodos de conforto térmico e conforto térmico com baixa umidade, respectivamente.

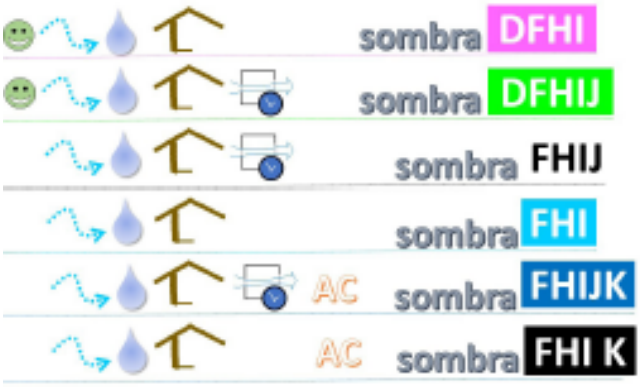


Figura 3 – Grupo de estratégias correspondentes a Zona Bioclimática 07

No caso da ZB07, os grupos de estratégias correspondentes foram os seguintes: DFHI; DFHIJ; FHIJ; FHIJK; FHIK (Figura 3). O significado de cada estratégia está indicado a seguir:

D - Caracteriza a zona de **conforto térmico** (a baixas umidades).

F - As sensações térmicas são melhoradas através da **desumidificação** dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da **renovação do ar interno** por ar externo através da ventilação dos ambientes.

H e I – **Resfriamento evaporativo** e **massa térmica para resfriamento**.

J – **ventilação seletiva** (nos períodos em que a temperatura interna seja superior a externa).

K – indica o uso do **ar condicionado.**

No Quadro 1 (pág. 4) estão indicadas as combinações de estratégias correspondentes a 35 das 39 cidades que tiveram seu clima classificado na ZB07 de acordo com a NBR 15220-3.

ADAPTANDO A ARQUITETURA AO CLIMA NA ZB07

5.4

Uma decisão projetual fundamental para a adequação da arquitetura a qualquer zona bioclimática é a implantação da edificação. Segundo Olgyay:

> *O problema total da orientação de uma edificação engloba diversos fatores: topografia local, privacidade, o prazer das vistas para o exterior, requisitos para redução do ruído e os fatores climáticos vento e radiação solar. [...] Uma boa parte da tarefa do arquiteto consiste em posicionar o edifício de modo tal que aproveite da melhor maneira possível os efeitos térmicos, higiênicos e psicológicos relacionados com a luz solar. (1963, p. 53, tradução livre).*

A implantação de um conjunto habitacional deve considerar como premissas a permeabilidade à ventilação natural, possibilitando que as edificações tenham acesso a este recurso nos períodos em que a ventilação pode promover o seu resfriamento (ver item c) a seguir). Também deve ser realizada de forma que as fachadas dos ambientes de permanência prolongada (que são a sala, os quartos e, muito frequentemente, a cozinha nas habitações de interesse social) estejam orientados para receber o sol da manhã, não da tarde.

Considerando-se as particularidades de cada clima, cada edificação apresentará um resultado diferenciado quanto as condições térmicas no interior dos seus ambientes, em função das suas características arquitetônicas (forma, dimensões, orientação e propriedades termo físicas dos materiais constituintes) e das formas de ocupação e uso, que incluem os modos como os usuários fazem uso ou não da ventilação e deixam o sol penetrar nos ambientes.

A seguir são caracterizadas as estratégias recomendáveis para a ZB07, indicando-se também condicionantes de natureza ambiental e projetual relacionados com a sua aplicação.

a) resfriamento evaporativo:

O resfriamento evaporativo tem como princípio a evaporação da água e pode ser direto ou indireto. Denomina-se resfriamento direto quando o ar resfriado por evaporação é introduzido no ambiente interno e indireto quando se dá através do resfriamento de um elemento da edificação, o qual assume a função de absorver o calor que penetra na mesma ou é gerado internamente (GIVONI, 1994 apud BATISTA, 2006, p. 35). A presença de vegetação no interior ou no entorno próximo da edificação, ou até mesmo por meio do uso de coberturas vegetadas (teto-jardim) também contribui para o aumento da umidade relativa do ar, fator benéfico para climas áridos como aqueles das cidades da ZB07. Como condicionantes, tem-se a necessidade de reforço estrutural e proteção contra umidade quando do uso de coberturas ou paredes vegetadas, assim como o consumo de água, seja para irrigação da vegetação (que pode ser minimizado com a escolha de espécies vegetais de baixa manutenção) ou para os equipamentos destinados ao resfriamento direto.

b) massa térmica para resfriamento:

Trata-se de uma estratégia de condicionamento passivo presente em edificações cujos elementos construtivos possuem uma elevada capacidade de armazenamento de calor. Nesses casos, a edificação pode tirar proveito do efeito da inércia térmica nos perío dos quentes para favorecer uma menor elevação da temperatura interna. Tal efeito consiste no amortecimento dos valores máximos e mínimos da temperatura interna quando comparados aos valores verificados no exterior da edificação. Desse modo, "a temperatura interna tem sua amplitude reduzida (diferença entre os valores máximos e mínimos) e varia com valores próximos à temperatura média externa do período" (BATISTA; LAMBERTS; C NDIDO, 2010, p. 39). Caso seja combinado ao sombreamento e ao uso da ventilação noturna (ou ventilação seletiva) o emprego da massa térmica

para resfriamento pode ser potencializado (BATISTA, 2011). Em se tratando de paredes e coberturas pesadas (com maior inércia), tem-se implicações de natureza estrutural e possíveis incrementos nos custos devido a aquisição de materiais isolantes térmicos ou pelo uso de alguns sistemas construtivos (paredes duplas de tijolo maciço, por exemplo). No entanto, custos de construção podem ser equilibrados mediante outras decisões de projeto, como a escolha de paredes e coberturas constituídas por diferentes camadas, porém com menor peso estrutural.

c) ventilação seletiva

A ventilação seletiva, embora também se utilize do movimento do ar para resfriar a edificação, difere da ventilação cruzada quanto as suas condições de aplicação. Em climas quentes e áridos não é recomendável empregar a ventilação abundante no período diurno, pois as temperaturas externas elevadas (frequentemente superiores a 30˚C na estação seca) resultam em ganhos de calor para a envoltória e desconforto para os ocupantes das edificações. Por outro lado, durante a noite, a temperatura cai de maneira mais acentuada em climas áridos do que em climas úmidos, de modo que ventilar os ambientes internos passa a representar uma boa opção para favorecer o conforto térmico dos ocupantes e também resfriar a edificação. Esta, uma vez resfriada durante o período noturno até o ponto onde seja capaz de absorver os ganhos de calor durante a ocupação diária, possibilita que o calor possa ser dissipado novamente pela ventilação noturna do dia seguinte (BITTENCOURT; C NDIDO, 2008). Outra possibilidade de aplicação da ventilação seletiva no clima das cidades da ZB07 é nos meses nos quais as temperaturas externas são mais amenas, inclusive no período diurno. Em todo caso, o dimensionamento, orientação e segurança das aberturas são importantes condi-cionantes projetuais a serem considerados para incorporar a ventilação numa residência, principalmente no período noturno.

No projeto bioclimático todas as decisões projetuais influenciam-se mutuamente. Assim, a incorporação de uma estratégia de condicionamento passivo afeta as demais e o desempenho térmico da edificação como um todo. Por isso, convém selecionar componentes construtivos com propriedades térmicas tais que resultem em paredes e coberturas capazes de minimizar os ganhos de calor solar. As propriedades que devem ser observadas são a transmitância térmica, a capacidade térmica e a absortância solar, definidas assim: (LAMBERTS et. al, 2014)

Transmitância térmica (U): transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. Componentes com transmitância elevada possibilitam ganhos de calor mais acentuados, enquanto aqueles com baixa transmitância dificultam a transmissão do calor, como é o caso dos isolantes térmicos.

Capacidade térmica (CT): quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. Componentes com capacidade térmica elevada possuem maior inércia termica, prestando-se ao emprego da massa térmica para resfriamento;

Absortância solar (α): quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. A absortância é utilizada apenas para elementos opacos e está diretamente relacionada com o a cor do revestimento: quanto mais escura, maior a absortância e, consequentemente, maiores os ganhos de calor. Na ZB 07, as superfícies externas devem possuir cores claras. As coberturas, preferencialmente brancas, promovem um efeito de resfriamento por meio de perdas por radiação ao dissipar o calor armazenado durante o dia para o céu à noite (SZOKOLAY, 2004, p. 68).

Quanto às aberturas, devido à transparência do vidro à radiação solar, devem ser sombreadas, principalmente nas horas mais quentes do dia. Diante das exigências climáticas da ZB07, a NBR 15220-3 define que as paredes e coberturas devem ser pesadas e que as aberturas devem ser pequenas (área de abertura variando entre 10% e 15% da área do piso do ambiente) e permanentemente sombreadas. Isto significa dizer que o projeto deve possuir dispositivos de proteção solar nas aberturas, tais como beirais, brises e marquises. Para o projeto dos dispositivos de sombreamento, o arquiteto pode utilizar ferramentas de modelagem virtual para simular a projeção de sombras nas fachadas ou utilizar a carta solar, um diagrama que representa as trajetórias solares em uma determinada latitude da superfície terrestre (LABEEE, 2020). Outras referências que mencionam o zoneamento bioclimático brasileiro estabelecem para a ZB07 áreas mínimas menores que a NBR 15220-3. A NBR 15575-4 (ABNT, 2015b) e o RTQ-R (BRASIL, 2012) definem que as aberturas para ventilação na ZB07 devem corresponder, no mínimo, a 7% e 5% da área do piso do ambiente, respectivamente.

Quanto as propriedades térmicas dos componentes opacos da envoltória, as Tabelas 1 e 2 apresentam os parâmetros estabelecidos para coberturas e paredes, respectivamente, na ZB07 pelas diferentes normativas. A NBR 15220-3 estabelece para a ZB07 valores limites de U, atraso térmico em horas (Φ) e Fator Solar (FSo), tanto para coberturas quanto para paredes. Já a NBR 15575-5 (ABNT, 2015c) e o RTQ-R (BRASIL, 2012) estabelecem uma correspondência entre os valores de de U e α para as coberturas. Para as paredes, a NBR 15575-4 (ABNT, 2015b) e o RTQ-R (BRASIL, 2012) estabelecem limites para U, α e CT. Valores das propriedades térmicas de componentes de paredes e coberturas podem ser encontrados no Anexo V do RTQ-R (BRASIL, 2017).

Tabela 1 – Parâmetros de avaliação das propriedades térmicas de coberturas na ZB07

Referência	Absortância solar	Transmitância térmica* ($W/m^2.K$)	Observações
NBR 15220-3 (ABNT, 2005)	-	U < 2,00	A Norma especifica coberturas pesadas para a ZB07, que se caracterizam também pelo atraso térmico (Φ > 6,5h) e Fator Solar (FSo < 6,5 %)
NBR 15575-5 (ABNT, 2015c)	α < 0,4	U < 2,30	Classificação: desempenho Mínimo
		U < 1,50	Classificação: desempenho Intermediário
		U < 1,00	Classificação: desempenho Superior
	α > 0,4	U < 1,50	Classificação: desempenho Mínimo
		U < 1,00	Classificação: desempenho Intermediário
		U < 0,50	Classificação: desempenho Superior
RTQ-R (BRASIL, 2012)	α < 0,4	U < 2,30	A adequação da propriedades termicas das paredes é pré -requisito para a classificação de eficiência energética da envoltória nos níveis A e B pelo RTQ-R.
	α > 0,4	U < 1,50	

* Aplicável a coberturas sem forro ou com áticos não ventilados.

Tabela 2 – Parâmetros de avaliação das propriedades térmicas de paredes externas na ZB07

Referência	Absortância solar	Transmitância térmica ($W/m^2.K$)	Capacidade térmica ($kJ/m^2.K$)	Observações
NBR 15220-3 (ABNT, 2005)	-	U < 2,20	-	A Norma especifica paredes pesadas para a ZB07, que se caracterizam também pelo atraso térmico (Φ > 6,5h) e Fator Solar (FSo < 3,5 %)
NBR 15575-4 (ABNT, 2015b) e RTQ-R (BRASIL, 2012)	α < 0,6	U < 3,70	CT > 130	A adequação da propriedades termicas das paredes é pré -requisito para a classificação de eficiência energética da envoltória nos níveis A e B pelo RTQ-R.
	α > 0,6	U < 2,50	CT > 130	

NORMATIVAS DE ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E CUSTOS NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: POSSÍVEIS IMPACTOS NO PROJETO E NA CONSTRUÇÃO

5.5

Segundo Bittencourt (2015), pensar o projeto arquitetônico é uma tarefa complexa que resulta do equacionamento de diversos condicionantes. Ainda de acordo com o autor, é na etapa do estudo preliminar que as questões ambientais permeiam com mais intensidade o desenvolvimento do projeto, por ser o momento de definição do partido arquitetônico. Portanto, é em suas fases iniciais que o projeto assume as principais características que definirão seu desempenho térmico e energético. Quanto aos possíveis impactos econômicos decorrentes da aplicação das normativas de zoneamento bioclimático no projeto e construção de HIS na ZB07, convém destacar:

a) Redução no número de unidades habitacionais no empreendimento

Recomenda-se elaborar o projeto do empreendimento com vínculo direto à configuração do terreno e do entorno, equacionando a disposição dos lotes e a quantidade de edifícios implantados com o bom aproveitamento da ventilação e adequada orientação dos ambientes de permanência prolongada. Assim, evita-se a "perda" de unidades decorrente da falta de ajuste entre a disposição do loteamento e as melhores orientações frente aos condicionante naturais.

b) Aumento dos custos com a construção de dispositivos de sombreamento

As opções disponíveis para proporcionar o sombreamento das aberturas incluem o prolongamento dos beirais e a inserção de dispositivos nas fachadas. Enquanto a extensão dos beirais pode ser usada para comportar áreas úteis já previstas em edificações isoladas, a exemplo de varandas, garagens e áreas de serviço, pode-se recorrer a pré-fabricação, produção em série e modularização de componentes como marquises e brises para baratear os custos da construção.

c) Custos adicionais com esquadrias e componentes reguláveis para captação da ventilação e iluminação

Além das implicações já citadas quanto a orientação aos ventos, destacam-se tambem os custos relacionados com as esquadrias. Custos adicionais com esquadrias operáveis podem ser equilibrados com a economia na construção das vedações opacas (alvenaria e seus revestimentos), sempre visando o atendimento dos percentuais de abertura recomendados para ventilação e iluminação naturais. Dispositivos para captação da ventilação (captadores de vento) podem ainda ser inseridos sob as caixas d'agua, adaptando-se à formas arquitetônicas convencionais, previamente definidas, minimizando os custos da construção.

d) Custos com instalações hidráulicas e consumo adicional de água

Tais custos relacionam-se ao emprego do resfriamento evaporativo direto, o que também implicaria em consumo de energia durante a fase de uso da habitação. Porém, o aumento da umidade pode ser obtido a partir da inserção de espécies vegetais nativas, de pouca ou nenhuma manutenção, no entorno das edificações, ou em jardins internos, possibilitando a criação de um microclima mais ameno. No caso de coberturas vegetadas, também podem ser utilizadas espécies de baixa manutenção, que não necessitem de irrigação, sobre as lajes de cobertura.

e) Aumento dos custos com sistemas de vedação

Decorrente do acréscimo de materiais construtivos, tais como paredes duplas, mantas isolantes e barreiras radiantes, associados com a estratégia da massa térmica. Convém salientar, porém, que diversos sistemas de vedação convencionais se adequam às normativas da ZB07, a exemplo da alvenaria de blocos cerâmicos rebocadas em ambas as faces e das coberturas em telha cerâmica ou fibrocimento combinadas com fôrro de gesso. Pinturas brancas reduzem significativamente os ganhos de calor e não representam acréscimo de custo ao empreendimento.

Diante do exposto, percebe-se que quando o projeto de arquitetura e urbanismo constitui-se por um conjunto de soluções integradas e responsivas ao clima e a cultura de um determinado local, há possibilidade de se obter conforto ambiental e eficiência energética nas habitações de interesse social localizadas na ZB07. Em um contexto como o do semiárido brasileiro, "a utilização dessas estratégias alcança relevância ainda maior, pois possibilita o atendimento às exigências de conforto térmico através de meios mais econômicos e financeiramente acessíveis à maioria da população." (BATISTA, 2006, p. 140).

CONCLUINDO 5.6

Para melhorar a eficiência energética e o conforto ambiental em unidades habitacionais de cunho social no Brasil é fundamental valorizar o projeto de arquitetura e urbanismo. A solução do déficit habitacional não pode ser encarada somente sob um enfoque quantitativo, de produção em larga escala de unidades padronizadas e indiferenciadas por todo o país. A contrução civil brasileira possui competência técnica para produzir soluções em habitação vinculadas não só com a realidade climática de cada local, mas também com os demais aspectos de qualidade e desempenho requeridos para a moradia, o que vem sendo acompanhado pelo aprimoramento do arcabouço normativo brasileiro, a exemplo da NBR 15575 (ABNT, 2015). Além disso, a habitação deve ser integrada à dinâmica urbana, seus eixos de circulação e comunicação entre as diferentes atividades necessárias ao usufruto da cidade: comércio, educação, trabalho, saúde e lazer. Desse modo, poderemos pensar que estamos construindo cidades e não apenas produzindo casas, como evidencia Ferreira (2012).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2015 a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Rio de Janeiro, 2015 b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-5: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2015 c.

AMORIM, C.; GUINANCIO, C.; IKEDA, D. F. R.; PEIXOTO, E. R. Qualidade de projeto arquitetônico. In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elaine Ribeiro; GUINANCIO, Cristiane (Org.). **Habitação de interesse social: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva.** Brasília: Unb, 2015. Cap. 2. p. 102-139.

ANDRADE; L.; LEMOS, N. **Qualidade do projeto urbanístico, sustentabilidade e qualidade da forma urbana.** In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elaine Ribeiro;

GUINANCIO, Cristiane (Org.). **Habitação de interesse social: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva.** Brasília: Unb, 2015. Cap. 1. p. 20-99.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L. DE; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsidio para estudos urbanos.** 2a. ed. Maceió: EDUFAL, 2016.

BATISTA, J. O. 2006. 161 f. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: estudos de caso em Santana do Ipanema-AL.** Dissertação de Mestrado (Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; CANDIDO, C. **Desempenho das estratégias bioclimáticas de projeto: inércia térmica e ventilação natural**. In: LAMBERTS, R; GHISI, E. PEREIRA, C. D.; BATISTA, J.O. (Ed.). Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p.33-53.

BATISTA, J. O. 2011. 286 f. **Eficácia da ventilação mecânica noturna para resfriamento: impacto de estratégias híbridas de ventilação no desempenho térmico de residência em Florianópolis-sc.** Tese (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BITTENCOURT, L.S.; C NDIDO, C. M. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2008.

BITTENCOURT, L. **Considerações preliminares sobre o projeto do edifício ambiental.** In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Orgs). Edifício ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 36-46.

BLUMENSCHEIN, R. N.; PEIXOTO, E. R.; GUINANCIO, C. **O desenvolvimento da metodologia de avaliação do PMCMV.** In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elaine Ribeiro; GUINANCIO, Cristiane (Org.). Habitação de interesse social: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva. Brasília: UNB, 2015. p. 12-16.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).** Anexo da Portaria nº 50/ 2013. Brasília, DF, 2017. Disponível em: www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf. Acesso em: 14 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Brasília, DF, 2013. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf. Acesso em: 14 abr. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social.** 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/sistema-nacional-de-habitacao-de-interesse-social. Acesso em: 04 dez. 2020.

BUSON, Márcio; ZANONI, Vanda A. G. Qualidade Construtiva. In: BLUMENSCHEIN, Raquel Naves; PEIXOTO, Elaine Ribeiro; GUINANCIO, Cristiane (Org.). **Habitação de interesse social: projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva.** Brasília: UNB, 2015. p. 142-167.

CBIC. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_da_Norma_de_Desempenho_2013.pdf. Acesso em 04 dez. 2020.

FERREIRA, J. S. W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano.** 1. ed. São Paulo: LABHAB/FUPAM, 2012. Disponível em: http://labhab.fau.usp.br/biblioteca/textos/ferreira_2012_produzirhab_cidades.pdf. Acesso em 04 dez. 2020.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines.** Energy and Buildings, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.

LAMBERTS, R. *et al.* **Manual para aplicação do RTQ-R. Florianópolis: LABEEE, 2014.** Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf. Acesso em: 04 dez. 2020.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings. New York: Van Nostrand Reinhold Publishing Company**, 1994.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas 1981-2010. **Direção Predominante do Vento (Pontos Cardeais e Colaterais) Mensal e Anual.** Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais. Acesso em: 04 dez. 2020.

LABEEE. Analysis SOL-AR 6.2. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-solar. Acesso em: 16 fev. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism.** New Jersey: Princeton University Press, 1963.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 1999. CD-ROM. SCHMID, A. L. A Idéia de Conforto: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design.** 2. ed. Oxford: Architectural Press, 2008.

RORIZ BIOCLIMATICA. ZBBR. **Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros, conforme a ABNT NBR 15220-3. 2004.** Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr. Acesso em: 16 fev. 2020.

Esta apostila foi elaborada pela Dra Juliana Batista e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

6.

Zonas Bioclimáticas 08

Desempenho térmico de habitações: Recomendações bioclimáticas e projetuais para HIS na ZB8 nordestina

Aldomar Pedrini, BEng, MEng, PhD é professor associado do Departamento de Arquitetura, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atua na pesquisa e extensão em desempenho do ambiente construído quanto ao conforto térmico, luz natural, e eficiência energética, bioclimatologia em baixa latitude, e integração com o processo projetual. Tem experiência com simulação computacional, calibração de modelos, medição e monitoramento de variáveis ambientais e de demanda de energia elétrica, etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações, e colaboração no desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

Giovani Hudson Silva Pacheco, arquiteto, M.Sc. é professor do curso de Arquitetura e Urbanismo no UNI-RN e na Estácio, Gerente Técnico do Oiedifica, sócio da empresa Habt e pesquisador do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LabCon) da UFRN. É mestre pelo PPGAU/UFRN na linha de pesquisa Tecnologia e Conforto no Ambiente Construído. Trabalha com certificação ambiental, eficiência energética em edifícios e com arquitetura bioclimática, realizando projetos, consultorias e realizando cursos nestas áreas. É formado em Arquitetura e Urbanismo pela UFRN e em Tecnologia da Produção da Construção Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte.

Objetivo do curso:

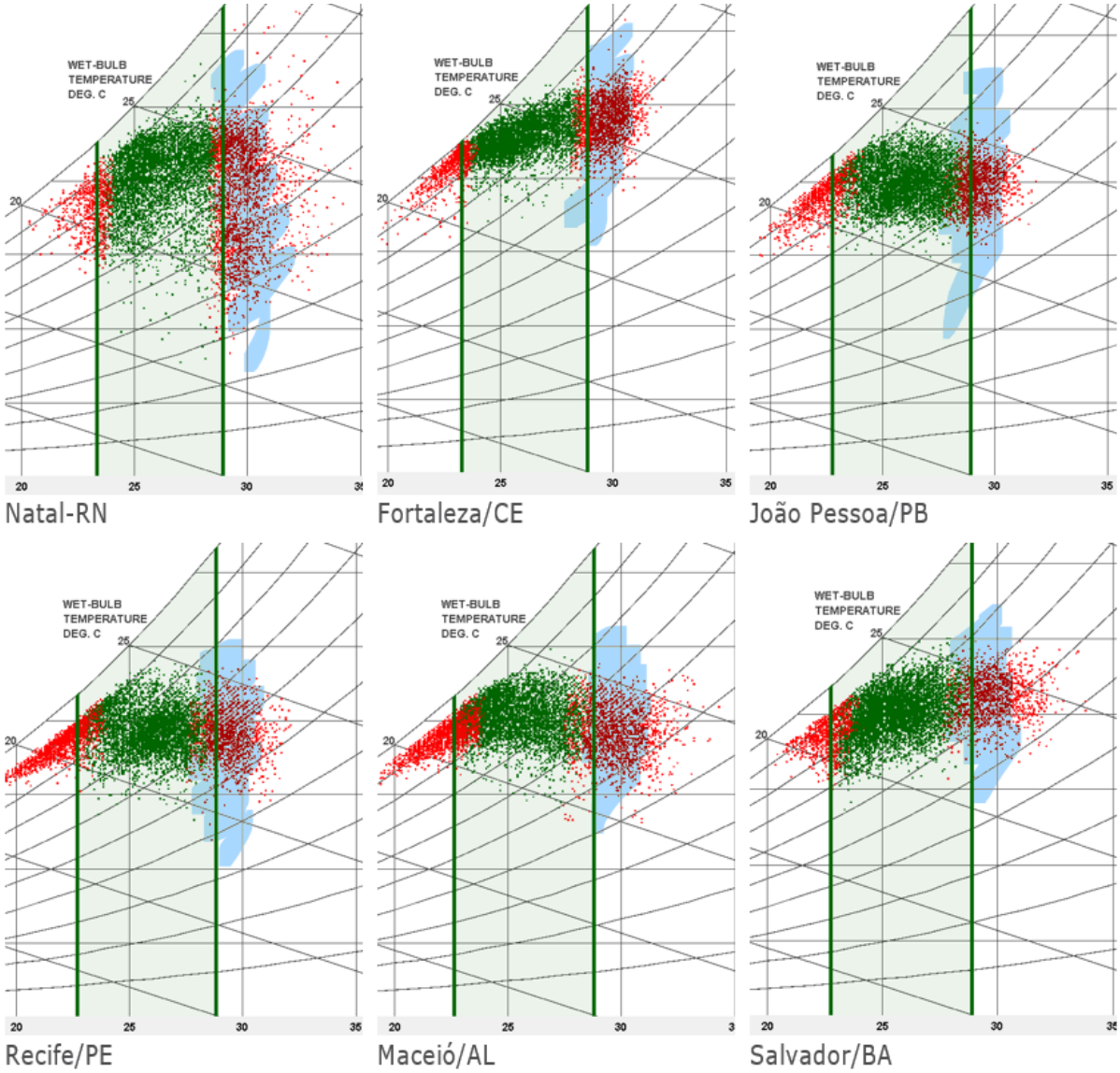
As recomendações apresentadas neste guia são baseadas em experiência de ensino e resultados de pesquisas e dissertações afins, desenvolvidas no Departamento de Arquitetura e no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, nos últimos anos.

O guia apresenta duas abordagens distintas e complementares. A primeira aborda as estratégias bioclimáticas e os recursos arquitetônicos para aplicação geral, independentemente do tipo de edificação, a partir da relação do clima com as causas do conforto e desconforto térmicos. A segunda abordagem apresenta recomendações projetuais bioclimáticas devidamente quantificadas quanto ao impacto no conforto térmico, para três tipos de habitações.

CLIMAS 6.1

Os climas das cidades na ZB8 nordestina apresentam alta frequência de conforto térmico e as ocorrências de desconforto ao quente podem ser evitadas com movimento do ar porque as temperaturas do ar são inferiores à temperatura da pele das pessoas, possibilitando a remoção do calor (Figura 2), desde que protegidas diretamente e indiretamente do Sol. Essas faixas de conforto e de desconforto são muito sensíveis à velocidade do ar e ainda mais sensíveis quanto à radiação térmica. Por isso, o mantra do projetista nordestino é SOMBREAR E VENTILAR, o principal guia é o "Roteiro para construir no Nordeste" (HOLANDA, 1976) e a arquitetura vernacular e modernista continuas sendo referências de projeto.

Figura 1. Faixa de conforto térmico para algumas cidades da ZB8 nordestina.



Fonte: adaptado do Climate Consultant (LIGGETT *et al.*, 2016) com climas representativos (RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA, 2014) e definição de zona de conforto pelo método adaptativo (ASHRAE, 2010).

Observações: os pontos verdes correspondem a horas em conforto térmico e os vermelhos em desconforto térmico; a mancha azul corresponde aos pontos que podem se tornar confortáveis por meio do movimento do ar.

CONFORTO TÉRMICO EXTERNO

A falta de vento e a exposição à insolação ou superfícies aquecidas pelo Sol são suficientes para causar percepção de desconforto térmico, variando de moderadamente quente a muito quente, ou de "sem estresse" a "estresse térmico extremo" (Figura 3), dependendo do índice, a exemplo do UTCI (Índice Térmico Climático Universal) (JENDRITZKY; DE DEAR; HAVENITH, 2012). Na prática, a radiação térmica não se limita à exposição da radiação solar direta (ondas curtas): mesmo na sombra de uma coberta de parada de ônibus, de fibrocimento, escurecida externamente pelas intempéries, a temperatura superficial externa da coberta facilmente atinge 70°C e o calor irradiado (ondas longas) pode causar estresse térmico, mesmo que moderado. Em ambientes abertos, a influência da radiação térmica no desconforto térmico é maior que a temperatura do ar. Enquanto a média máxima da temperatura do ar de Natal-RN é apenas 30°C e pode ser resolvida com o movimento do ar e redução da roupa, a diferença entre a sombra frondosa e a exposição à radiação térmica (direta do Sol e das superfícies) equivale a um aumento de 13°C. A própria percepção das pessoas em relação à temperatura do ar é frequentemente confusa porque é muito influenciada pela radiação térmica.

Figura 2. UTCI para uma condição sombreada e vento.

Figura 3. UTCI para uma condição sem sombra e sem vento.

CONFORTO TÉRMICO INTERNO

Em ambientes fechados e ventilados naturalmente, o parâmetro mais adequado par avaliar o conforto térmico é a Temperatura Operativa (Top) (ABNT, 2008), que corresponde à média da temperatura do ar e da temperatura radiante média (que depende das temperaturas superficiais): quanto maior a temperatura da superfície, maior a irradiação de calor. Por exemplo, uma habitação com apenas telha de fibrocimento, mesmo muito bem ventilada, pode apresentar temperatura do ar interno igual ao externo, de 30°C, porém as temperaturas superficiais internas médias podem chegar a 40°C e a temperatura interna da coberta pode passar dos 60°C, resultando em Top de 35,0°C, causando muito desconforto.

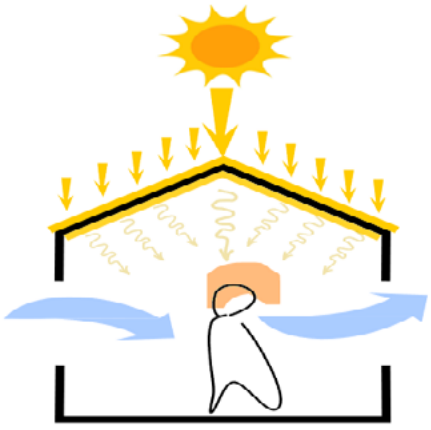


Figura 4. Radiação términa / pela cobertura.

É possível obter uma habitação de interesse social com Top confortável durante todo o ano, por meio de fechamentos claros ou sombreados, aberturas sombreadas e com ventilação natural.

Também é possível, ainda eu involuntariamente, obter uma habitação similar, com Top desconfortável durante quase todo o ano, se a coberta e as paredes forem escuras e deixarem o calor passar, as aberturas estiverem expostas à radiação solar e não houver ventilação natural.

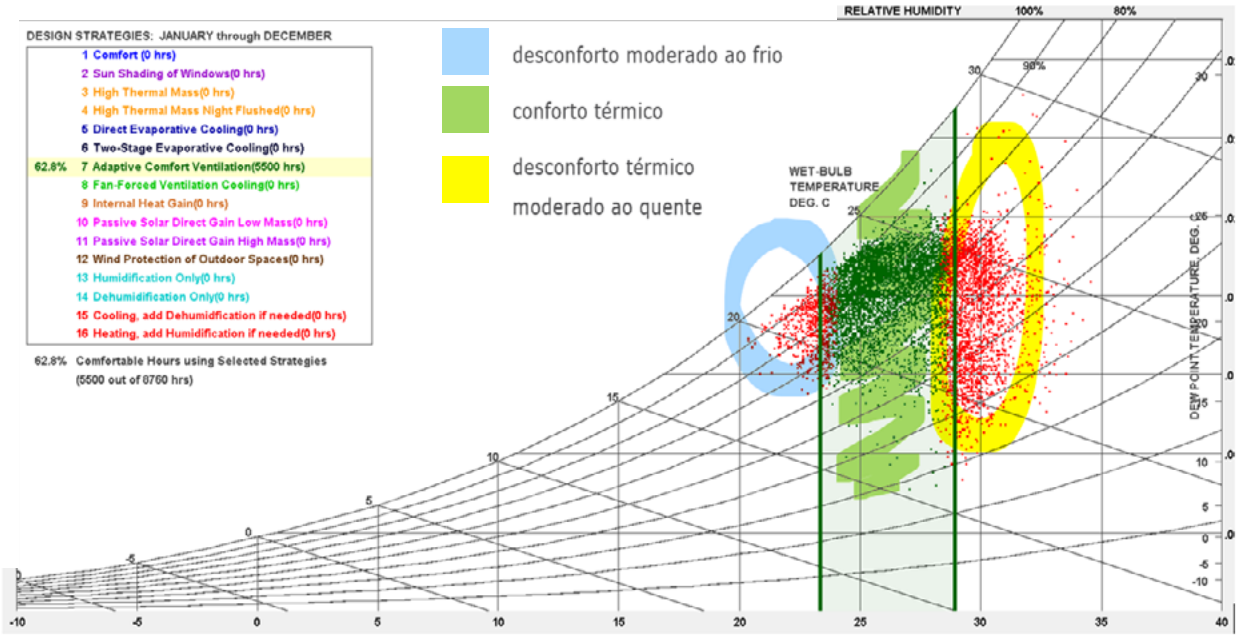
Entre esses extremos de desempenho, há os projetos de habitações que contribuem para o bem-estar de seus ocupantes, com baixo impacto ambiental, e há os projetos que devem ser combatidos veementemente porque comprometem a saúde física e a saúde mental de seus ocupantes, e dependem do uso de ar-condicionado, que aumenta o custo de operação e o impacto ambiental, e desvaloriza o imóvel.

ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA & RECURSOS ARQUITETÔNICOS 6.2

A carta psicrométrica vem sendo usada há quase 100 anos para relacionar o clima com o conforto térmico e com os recursos passivos. Há vários métodos de análise e este, apresentado a seguir, visa destacar as particularidades regionais e simplificar a carta bioclimática (ABNT, 2005; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As estratégias bioclimáticas e recursos arquitetônicos para a ZB8 nordestina estão organizadas para as três condições recorrentes: desconforto moderado ao frio, conforto térmico, e desconforto térmico moderado ao quente (Figura 5).

Figura 5. Zonas de desconforto moderado ao frio, conforto térmico, e desconforto térmico moderado ao quente

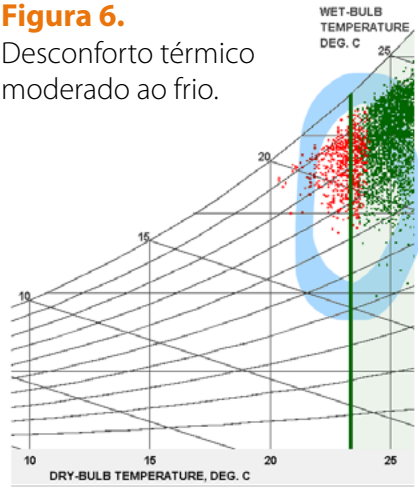


Fonte: adaptado do Climate Consultant (LIGGETT *et al.*, 2016)

DESCONFORTO MODERADO AO FRIO

A ZB8 apresenta pouca ocorrência e pouca intensidade de desconforto ao frio (Figura 6), e acontece em alguns meses, de madrugada. As ocorrências podem ser amenizadas por meio de adaptação de roupas e cobertas, porém é necessário evitar o conflito entre as estratégias que preservam o conforto e evitam o desconforto ao quente nas demais horas. Por isso, não se justifica o aquecimento solar passivo. Além disso, a ventilação natural (necessária para a maioria das horas do ano) deve ser controlável pelo ocupante para não causar frio e assim evitar que as entradas sejam obstruídas, a exemplo dos fechamentos de peitoris ventilados e cobogós (elementos pré-moldados perfurados de cimento).

Figura 6.
Desconforto térmico moderado ao frio.



As principais recomendações estão descritas no Quadro 1, sendo que a massa térmica pode combater as temperaturas superficiais internas baixas e evitar o resfriamento dos ocupantes.

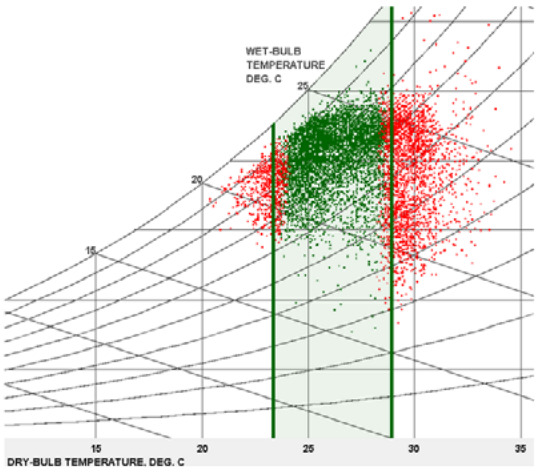
Quadro 1. Recomendações para o clima moderadamente frio.

ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA	RECURSOS ARQUITETÔNICOS
Reduzir a entrada do ar externo quando estiver frio	• esquadrias estanques e reguláveis, como venezianas, tabicões, janelas com aberturas variáveis • evitar frestas e aberturas sem fechamento ou regulagens, como blocos perfurados
Combater as correntes de ar e reduzir sua velocidade para não aumentar a perda de calor dos ocupantes	• aberturas de entrada e saída do ar em posições altas para evitar correntes de ar na altura do ocupante, como bandeiras de luz • esquadrias com direcionamento da entrada do ar, como venezianas horizontais que defletem o vento para cima

CONFORTÁVEL TERMICAMENTE

Nos períodos de clima confortável termicamente (maioria das horas do ano, Figura 7), o ar externo pode ser trazido para o interior da habitação para combater o desconforto, por meio da ventilação natural. Tão importante quanto ventilar é evitar que a radiação solar aqueça a habitação, sobretudo quando a ventilação natural for comprometida pela proximidade com outras edificações e obstáculos naturais, ou fechamento das aberturas por questão de segurança, ou falta de vento. Quanto menor o calor a ser removido internamente para atingir conforto térmico, menor é a dependência em relação à ventilação natural.

Figura 7. Zona de conforto térmico.



As recomendações principais estão no Quadro 2, sendo que a inércia térmica das paredes também pode trazer benefícios se devidamente protegida da radiação solar.

Quadro 2. Recomendações para o clima confortável.

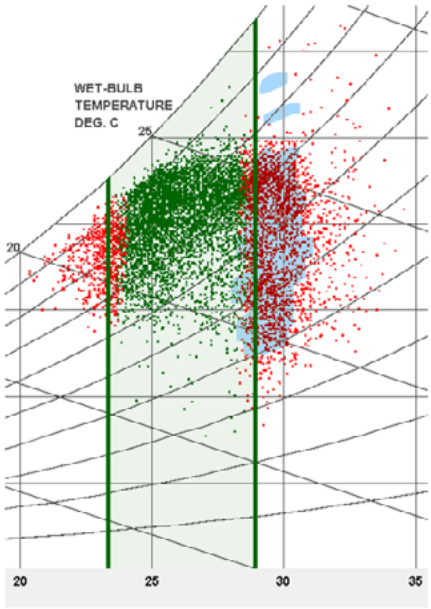
ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA	RECURSOS ARQUITETÔNICOS
Trazer o clima para dentro da habitação por meio de renovação do ar com ventilação natural, se a temperatura do ar externo for menor que a do ar interno	• implantação da habitação fora da esteira de vento de outras habitações ou obstáculos naturais • aberturas em diferentes fachadas, com diferentes coeficientes de pressão do ar • aberturas dimensionadas proporcionalmente à ventilação necessária para remover o calor • aberturas basculantes sobre as portas internas para aumentar a permeabilidade entre os ambientes
Evitar correntes de ar no ocupante para não causar desconforto ao frio	• aberturas altas para evitar correntes de ar na altura do usuário • janelas com direcionamento do fluxo, como pivotantes • venezianas reguláveis
Evitar o ganho de calor externo e o aquecimento das superfícies internas	• aberturas para N e S sombreadas com brises fixos, e L e O com brises ou painéis externos móveis ou reguláveis • elementos de sombreamento fixos em abertura de sala e móveis em quartos, para controle da luz e passagem do ar • varandas e grandes beiras • paredes com cores externas claras e refletivas • coberta clara/refletiva com alta emissividade com ático ventilado ou coberta com isolamento térmico • reduzir as temperaturas superficiais do entorno com vegetação e umidificação

DESCONFORTO MODERADO AO QUENTE

O desconforto ao quente é frequente e pode ser evitado por meio do movimento de ar, desde que haja proteção da radiação solar. O ar em movimento aumenta a perda de calor do ocupante, causando uma percepção equivalente à mudança de temperatura do ar: 1 m/s ≈ 4°C (depende do modelo físico). Ainda que o efeito de resfriamento diminua à medida que a temperatura do ar se aproxima da temperatura da pele, é suficiente para evitar o desconforto térmico. Além disso, o efeito pode ser auxiliado pela remoção de roupas e exposição da pele.

Se obtém conforto térmico trazendo o ar externo para o interior da habitação, se dentro estiver mais quente, e movendo-o (como uma brisa interna) por ventilação cruzada ou mesmo por ventiladores de teto (consome apenas 1/10 da energia do condicionador de ar). Entretanto, as superfícies internas precisam estar à temperatura do ar ou mais baixas, para não aumentar a Top e comprometer as estratégias (Quadro 3).

Figura 8. Desconforto térmico moderado ao quente.



Quadro 3. Recomendações para o clima moderadamente quente.

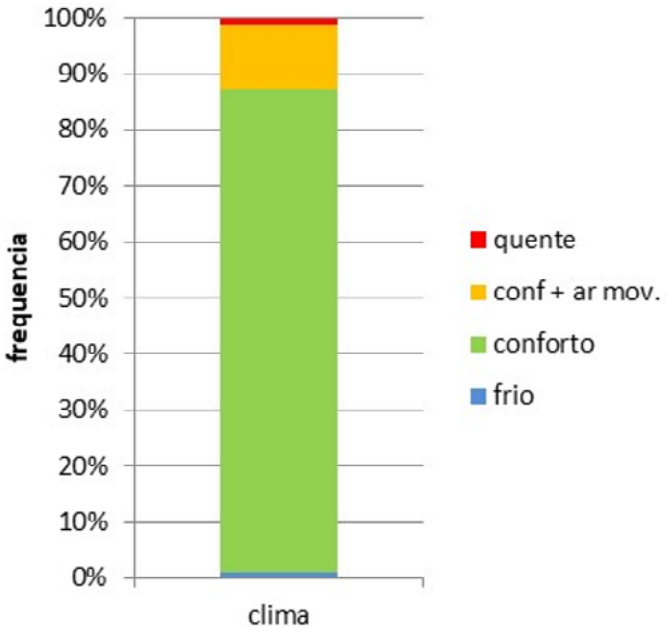
ESTRATÉGIA BIOCLIMÁTICA	RECURSOS ARQUITETÔNICOS
Trazer o clima para dentro da habitação por meio de renovação do ar com ventilação natural, se a temperatura do ar externo for menor que a do ar interno	• implantação da habitação fora da esteira de vento de outras habitações ou obstáculos naturais • aberturas em diferentes fachadas, com diferentes coeficientes de pressão do ar • aberturas dimensionadas proporcionalmente à ventilação necessária para remover o calor
Mover o ar interno ao redor do usuário, para remover o calor	• aberturas baixas para a entrada do ar, na altura do usuário, como peitoril ventilado • abertura de saída em posição alta para a exaustão do ar aquecido, como basculantes e boca de lobo • janelas com direcionamento do fluxo para o usuário, como pivotantes verticais (as horizontais são inadequadas) • prever correntes de ar interna de acordo com o layout • ventilador de teto
Evitar o ganho de calor externo e o aquecimento das superfícies internas	• aberturas para N e S sombreadas com brises fixos, e L e O com brises ou painéis externos móveis ou reguláveis • elementos de sombreamento fixos em abertura de sala e móveis em quartos, para controle da luz e passagem do ar • varandas e grandes beiras • paredes com cores externas claras e refletivas • coberta clara/refletiva com alta emissividade com ático ventilado ou coberta com isolamento térmico • reduzir as temperaturas superficiais do entorno com vegetação e umidificação

IMPACTO DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS 6.3

O impacto das recomendações bioclimáticas no conforto térmico depende das interações do clima com o projeto arquitetônico e com o usuário, gerando incontáveis possibilidades de projeto. Por isso, optou-se por apresentar o impacto das quatro principais recomendações bioclimáticas, para três tipos de habitações, considerando um ocupante que interage com a edificação (abrindo e fechando janelas quando necessário), por meio da simulação no programa DesignBuilder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, [s. d.]; ENERGYPLUS, 2007), com arquivo climático de Natal, de 2009 (RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA, 2014).

Os critérios de análises são as ocorrências de horas com Top correspondentes à desconforto térmico ao frio, conforto térmico, conforto térmico com movimento de ar, e desconforto térmico ao quente, para um ano (Figura 9), baseado na ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010).

Figura 9. Ocorrências de horas de conforto e desconforto para o clima de Natal/RN.



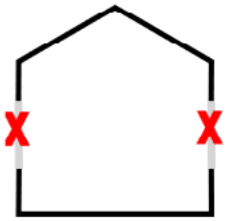
ESTRATÉGIAS

As quatro estratégias bioclimáticas foram selecionadas com base na carta bioclimática e exequibilidade. Foram consideradas a presença e a ausência de cada estratégia, para efeito de comparação, conforme Quadro 2.

Quadro 4. Características das estratégias bioclimáticas.

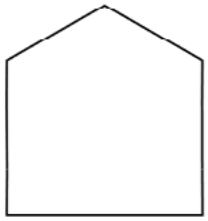
Ventilação natural

- ventilação natural controlada, em que as portas e janelas são totalmente abertas sempre que a temperatura do ar externo é menor que o ar interno e a temperatura externa é superior à 20°C, para reproduzir o comportamento do usuário

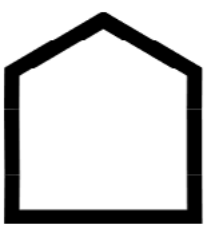


- sem ventilação, quando não há disponibilidade de vento ou não é possível abrir janelas ou portas por algum motivo

Massa térmica



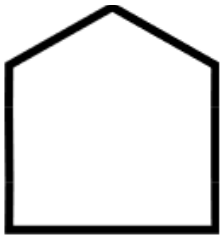
- leve, com tijolo cerâmico oito furos, assentados na menor dimensão com argamassa sem revestimento, com espessura total de 9 cm, com capacidade térmica de 45 kJ/(m^2.K) e U de 2,44 W/m^2.K



- pesada, com dupla camadas de tijolos, assentados na maior dimensão, assentamento, reboco interno e externo em argamassa, 39 cm de espessura, capacidade térmica de 255 kJ/(m^2.K) e U de 1,52 W/m^2.K

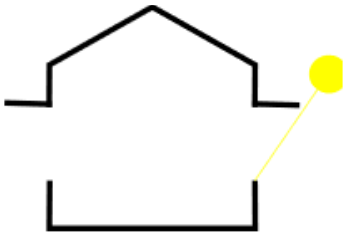
Fator de calor solar [1]

• baixa, com 2,0% para paredes e 6,4 para cobertas

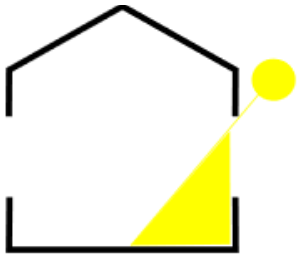


• alta, com 6,4% para paredes 14,6 para cobertas.

Sombreamento das aberturas



• com sombreamento, com aletas horizontais e verticais fixas, à frente das janelas

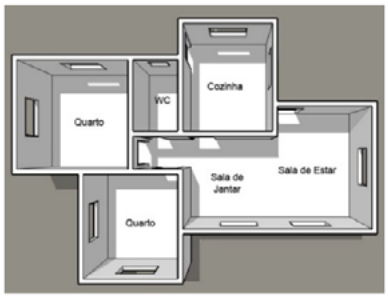


• sem sombreamento, com exposição a insolação

TIPOS DE HABITAÇÕES

As três habitações unifamiliares apresentam aproximadamente 60m^2 de área construída, e foram selecionadas de acordo com a recorrência tipológica na região e os diferenciais de comportamento térmico (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos de habitações analisadas.

Tipo	Alongado	Compacto	Ramificado
			
Referência	habitações vernaculares de centros urbanos	habitações de conjuntos habitacionais	recomendações da literatura para o clima quente e úmido
Implantação	geminada nas duas laterais	geminada em uma lateral	livre
Exposição da envoltória	poucas paredes expostas	maior parte das paredes expostas	todas as paredes expostas
Aberturas	nas fachadas frontal e posteriores	nas fachadas livres	na maioria das paredes
Área de abertura	pequena, 10% da área do piso	média, 20% da área do piso	grande, 40% da área do piso

[1] É a fração da radiação solar incidente que foi absorvida e transmitida para dentro da habitação: FCS = 4 x U x ∞, sendo U = transmitância térmica (W/m^{2}K); ∞ = absortância (adimensional).

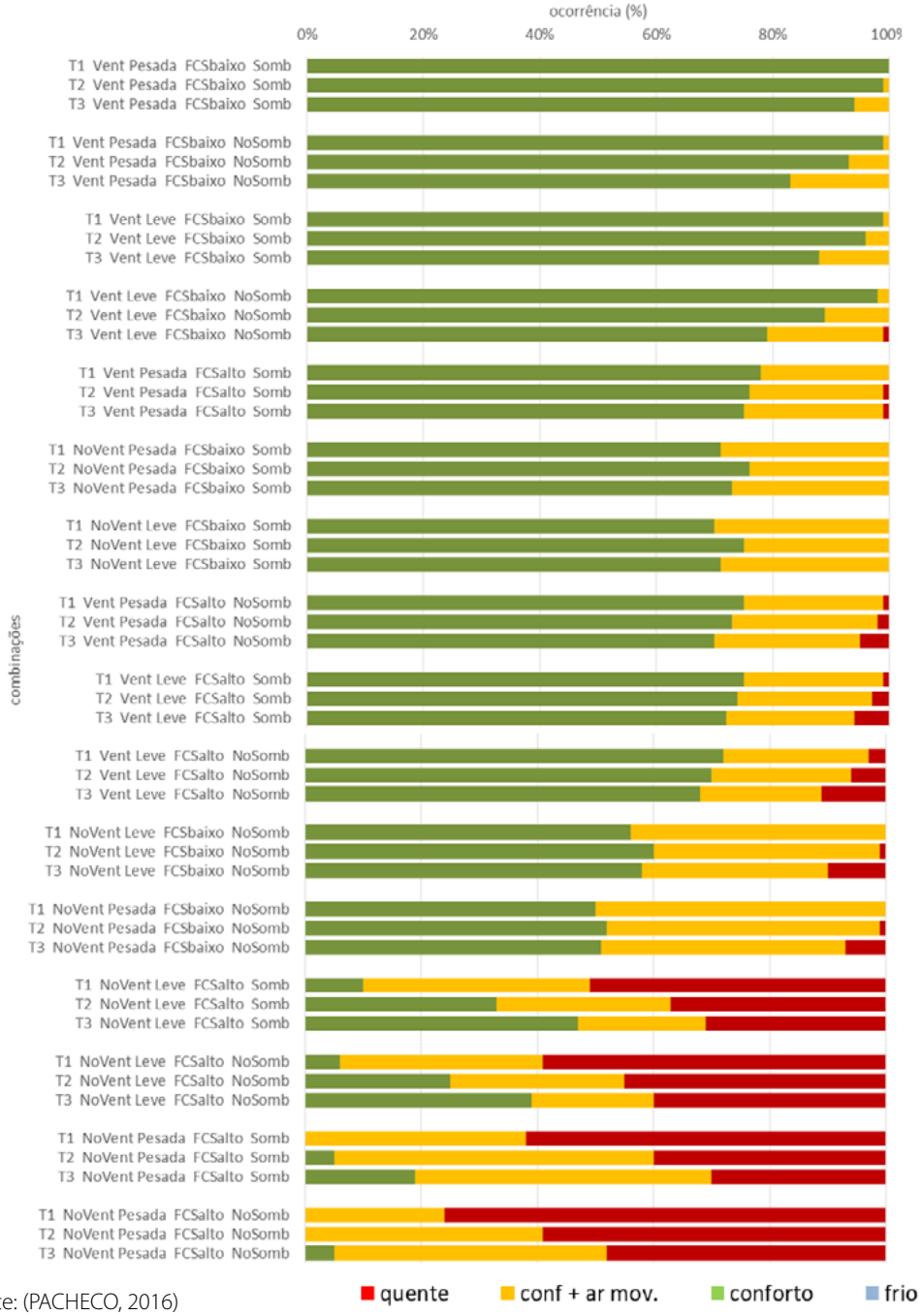
COMPARAÇÃO DOS DESEMPENHOS

Os três tipos de habitação (Figura 10) podem proporcionar conforto térmico e dispensar climatização artificial, assim como também podem causar desconforto térmico na maioria das horas do ano e se tornarem inabitáveis.

A aplicação das estratégias bioclimáticas diminui a influência do tipo de edificação no conforto térmico. A habitação geminada nas laterais (tipo 1), menos exposta à radiação solar, apresenta o melhor desempenho (100% em conforto), enquanto o tipo isolado no lote, com mais aberturas (tipo 3, ramificado,) apresenta desempenho um pouco inferior (94% de conforto e 6% de conforto com movimento de ar) devido à exposição ao clima, e depende do movimento do ar para compensar a maior exposição à radiação solar.

A falta de estratégias bioclimáticas aumenta a influência do tipo da edificação. A habitação geminada nas laterais (tipo 1), menos ventilada, apresenta o pior desempenho (66% quente e 24% em conforto com movimento de ar), enquanto o tipo isolado no lote, com mais aberturas (tipo 3, ramificado,) apresenta desempenho bem menos sofrível (38% quente, 48% confortável com movimento de ar e 4% de conforto).

Figura 10. Comparação dos desempenhos por tipos de habitação na ZB8



Fonte: (PACHECO, 2016)

RECOMENDAÇÕES 6.4

As recomendações de estratégias bioclimáticas para atingir conforto térmico acima de 80% das horas do ano são:

HABITAÇÕES GEMINADAS EM UMA OU DUAS LATERAIS

Bem ventilada + Baixo FCS

HABITAÇÕES ISOLADAS NO LOTE

Bem ventilada + Baixo FCS + Aberturas sombreadas

Bem ventilada

A ventilação abundante requer:

- implantação da habitação fora da esteira de vento de outras habitações ou obstáculos naturais;
- aberturas em diferentes fachadas, com diferentes coeficientes de pressão do ar;
- aberturas dimensionadas proporcionalmente à ventilação necessária para remover o calor;
- aberturas baixas para a entrada do ar, na altura do usuário, como peitoril ventilado;
- abertura de saída em posição alta para a exaustão do ar aquecido, como basculantes e boca de lobo;
- janelas com direcionamento do fluxo para o usuário, como pivotantes verticais (as horizontais são inadequadas);
- prever correntes de ar interna de acordo com o layout.

Baixo FCS

O baixo FCS depende da transmitância térmica do fechamento: quanto maior a transmitância, mais clara e refletiva deve ser a superfície externa.

- paredes com U>2,5W/(m^2K), como paredes de concreto, de bloco de concreto, de tijolos maciços requerem tintas brancas (branca mesmo!) ou sombreamento (longos beirais, varandas, puxadinhos), e as demais podem usar tintas claras;
- cobertas expostas requerem cores claras enquanto as cobertas com telhado e lajes ou forros podem apresentar cores intermediárias.

Aberturas sombreadas

O sombreamento das aberturas pode ser obtido por:

- brises fixos, longo beiras ou varandas para N e S e painéis externos móveis ou reguláveis para L e O;
- elementos de sombreamento fixos em abertura de sala e dispositivos móveis em quartos, para controle da luz e passagem do ar.

CONTRAINDICAÇÕES 6.5

As características que devem ser evitadas porque causam desconforto térmico ao quente na maioria do tempo são:

HABITAÇÕES GEMINADAS EM UMA OU DUAS LATERAIS

Alto FCS + Mal ventilada

HABITAÇÕES ISOLADAS NO LOTE

Alto FCS + Massa térmica

Alto FCS

O alto FCS ocorre quando as paredes e cobertas apresentam cores intermediárias e escuras, ou escurecimento por ação das intempéries. A radiação solar degrada os polímeros e causa fissuras em lajes devido à expansão e contração, resultando em infiltração e proliferação de fungos.

Mal ventilada

A ventilação insuficiente é decorrente de várias causas, sobretudo adensamento com edificações na esteira de vento das demais, aberturas insuficientes e mal localizadas, e falta de permeabilidade interna.

Massa térmica

A massa térmica das paredes e cobertas que absorvem e acumulam calor mantém a habitação aquecida por muitos mais horas após o poente, causando desconforto sobretudo à noite.

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As recomendações foram obtidas por procedimentos diferentes das normas publicadas nos últimos anos. A tendência é que sejam ratificadas pelos novos procedimentos de simulação da NBR 15.575.

A simulação do desempenho enfatiza as indicações relacionadas aos ganhos térmicos do Sol enquanto a carta psicrométrica é genérica.

As recomendações e contraindicações apresentaram uma grande convergência com os climas da ZB7, sobretudo aqueles que variam entre quente e seco e quente e úmido ao longo do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ABNT NBR 16401-2:2008 Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. **Central and unitary air conditioning systems Part 2: Thermal comfort**, Rio de Janeiro, , p. 7, 2008. .

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3.** . RIO DE JANEIRO, vol. NBR15220-3, p. 30, 2005. .

ASHRAE. **ASHRAE STANDARD 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, Georgia, 2010. .

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder.** ed. 3.0.0.105, [s. d.]. .

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Energy Simulation Software: schedule**. 2007. Available at: http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/schedule.html.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste**. Recife: UFPE, 1976.

JENDRITZKY, Gerd; DE DEAR, Richard; HAVENITH, George. **UTCI-Why another thermal index?** Int J Biometeorol, no. 56, p. 421–428, 2012. DOI 10.1007/s00484-011-0513-7. Available at: www.meteo.uni-freiburg.de. Accessed on: 21 Sep. 2020.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3a edição. [S. l.: s. n.], 2014. Available at: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf.

LIGGETT, Robin; MILNE, Murray; GOMEZ, Carlos; LEEPER, Don; BENSON, Andrew; BHATTACHARYA, Yasmin. **Climate Consultant 6.** California, Los Angeles, ed. 6, 2016. Available at: http://www2.aud.ucla.edu/energy-design-tools/.

PACHECO, Giovani Hudson Silva. **Determinação de recomendações bioclimáticas para habitação de interesse social de quatro climas do Rio Grande do Norte**. 2016. 119 f. UFRN, Natal, 2016.

RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA. **Base de dados climáticos de 411 municípios brasileiros.** 2014. Available at: http://www.roriz.eng.br/epw_9.html.

Esta apostila foi elaborada por Aldomar Pedrini e Giovani Hudson Silva Pacheco e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.

7.

NBR 15220-

Desempenho térmico de edificações

Professora Dra. Ana Paula Melo - Professora da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Tem experiência em pesquisa cientifica em eficiência energética em edificações, e simulação computacional do desempenho térmico e energético de edificações

Participação:
Professor Dr. Roberto Lamberts - Professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Coordenador do labEEE/UFSC.
Professora Letícia Eli - Doutoranda na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisadora do labEEE/UFSC

NBR 15220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

7.1

No ano de 2005 foi publicada a normativa 15220 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com o foco no desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005). A NBR 15220 é dividida em cinco partes: a primeira estabelece definições, símbolos e unidades; a segunda define os métodos de cálculo para a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes de edificações; a terceira refere-se ao zoneamento bioclimático brasileiro e às diretrizes construtivas para Habitações de Interesse Social (HIS) unifamiliares; e, por fim, a quarta e quinta parte definem métodos para a medição da resistência térmica e da condutividade térmica.

7.1.1

PARTE 1: DEFINIÇÕES, SÍMBOLOS E UNIDADES

A parte 1 da NBR 15220 traz as definições de propriedades térmicas, juntamente com seus símbolos e unidades. Os termos relacionados ao desempenho térmico são divididos em três tabelas de acordo com o campo de estudo, no qual essas definições podem ser utilizadas. Na primeira tabela, presente na NBR 15220-1 (página 2 e 3), são apresentadas as características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos. Na segunda tabela, presente na NBR 15220-1 (página 4), são apresentadas algumas definições para características térmicas de ambientes. Por fim, a terceira tabela da NBR 15220-1 (página 5 e 6) traz definições quanto as grandezas do clima, do ambiente e da fisiologia humana relacionadas ao condicionamento térmico de edificações.

7.1.2

PARTE 2: MÉTODOS DE CÁLCULO DA TRANSMITÂNCIA TÉRMICA, DA CAPACIDADE TÉRMICA, DO ATRASO TÉRMICO E DO FATOR SOLAR DE ELEMENTOS E COMPONENTES DE EDIFICAÇÕES

A parte dois, a NBR 15220-2, apresenta os procedimentos de cálculo das principais propriedades térmicas dos materiais e componentes construtivos, juntamente com exemplos práticos de como calcular. As equações presentes na NBR 15220-2 apresentam cálculo da resistência térmica de uma camada ou material; a resistência térmica total de um elemento, como por exemplo uma parede; o cálculo da transmitância térmica do elemento construtivo; o cálculo da capacidade térmica de uma camada ou material, o somatório de diversas camadas/materiais resulta na capacidade térmica de um elemento construtivo; o cálculo do atraso térmico de um elemento construtivo; e, por fim, o cálculo do fator de ganho solar de elementos opacos. Na NBR 15220-2, além de procedimentos de cálculo, também são apresentados valores tabelados para a absortância à radiação solar e emissividade de onda longa de algumas cores e superfícies, e os valores de densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de diversos materiais. Embora valores de propriedades térmicas para alguns materiais estejam presentes na NBR 15220-2, é importante destacar que são números aproximados. Os fornecedores de materiais têm papel importante na divulgação desses parâmetros. Para materiais como isolantes térmicos, é recomendado que a condutividade térmica seja medida, para garantir a correta consideração desta propriedade. No caso de tintas, por exemplo, a absortância à radiação solar é uma propriedade importante, devendo ser fornecida pelos fabricantes, principalmente no caso de tintas de alto desempenho.

7.1.3

PARTE 3: ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL

A parte 3 da NBR 15220 divide o território brasileiro em zonas bioclimáticas e apresenta recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo para edificações residenciais de baixa renda com até três pavimentos, de acordo com a zona bioclimática onde a residência está inserida. Além disso, no anexo D dessa parte da normativa, é possível obter o valor aproximado de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de elementos construtivos (paredes e cobertura). O zoneamento bioclimático estabelecido na NBR 15220-3 divide o país em um total de oito zonas bioclimáticas. As cidades pertencentes à zona bioclimática 1 (ZB1) são as mais frias, e as cidades localizadas na zona bioclimática 8 (ZB8) são as mais quentes do país. É importante ressaltar que, embora essa divisão climática seja amplamente utilizada em estudos que envolvem edificações de diferentes tipologias, as zonas bioclimáticas da NBR 15220-3 foram desenvolvidas considerando a aplicação para estudos relacionados às edificações residenciais.

Para a classificação das cidades brasileiras em zonas bioclimáticas, foram utilizados dados de normais climatológicas de 330 cidades (SUGAHARA, 1999). Estes dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMET). Para as cidades que não possuíam dados climáticos, estes parâmetros foram estimados, através de interpolação, com base nos arquivos das 330 cidades. Com base nesses dados, foram analisados os desvios da zona de conforto adaptada do diagrama psicrométrico proposto por Givoni (1992), sendo os resultados adaptados também de acordo com as tabelas de Mahoney (ONU, 1971), para assim serem definidas as zonas bioclimáticas e diretrizes construtivas com base em três características climáticas principais: as médias mensais das temperaturas máximas, as médias mensais das temperaturas mínimas, e as médias mensais da umidade relativa do ar. Na Figura 1 pode-se observar as zonas bioclimáticas e a sua divisão no território brasileiro.

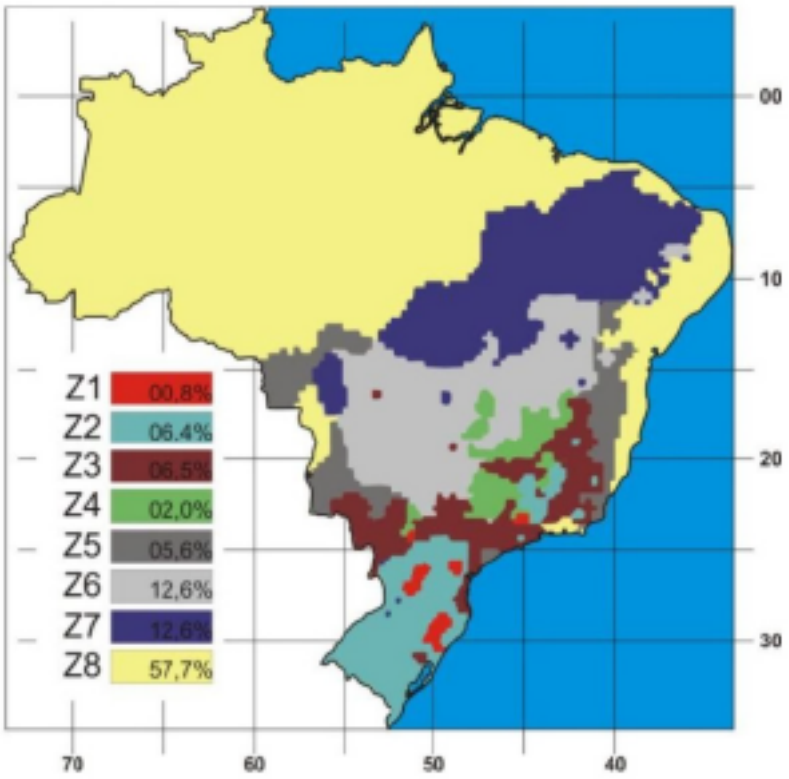


Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.
Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Com base nas características principais de cada zona bioclimática brasileira, a NBR 15220-3 recomenda estratégias a serem implementadas nas edificações residenciais de baixa renda de até três pavimentos. Os parâmetros e condições de contorno utilizados para a definição dessas estratégias bioclimáticas foram: tamanho das aberturas para ventilação natural; proteção solar das aberturas; vedações externas (paredes e cobertura); e estratégias de condicionamento térmico passivo. Abaixo podem ser observadas as estratégias recomendadas para cada zona bioclimática, conforme apresentado na NBR 15220-3, onde a Tabela 1 apresenta as definições quanto ao tamanho da abertura para ventilação natural, a Tabela 2 apresenta as recomendações quanto às proteções solares, a Tabela 3 apresenta as diretrizes referentes às vedações externas, e a Tabela 4 apresenta as recomendações quanto às estratégias de condicionamento térmico passivo.

Tabela 2 - Tamanho de abertura para ventilação para cada zona bioclimática.

Aberturas para ventilação recomendadas	Zonas bioclimática
Pequenas: 10% < A < 15%	7
Médias: 15% < A < 25%	1, 2, 3, 4, 5 e 6
Grandes: A > 40%	8
A: porcentagem da área de abertura com relação à área de piso do ambiente.	

Tabela 3 – Sombreamento das aberturas para cada zona bioclimática.

Sombreamento das aberturas recomendado	Zonas bioclimática
Permitir sol durante o período frio	1
Permitir sol durante o inverno	2 e 3
Sombrear as aberturas	4, 5, 6, 7 e 8

Tabela 4 – Vedações externas para cada zona bioclimática

Parede externa recomendada	Cobertura recomendada	Zona bioclimática
Leve	Leve isolada	1 e 2
Leve refletora	Leve isolada	3, 5
Pesada	Leve isolada	4, 6
Pesada	Pesada	7
Leve refletora	Leve refletora	8

Características Térmicas das Paredes Externas

- Leve: $U \leq 3{,}00$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 4{,}3$ horas; FSO: 5,0%
- Leve refletora: $U \leq 3{,}60$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 4{,}3$ horas; FSO: 4,0%
- Pesada: $U \leq 2{,}20$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 6{,}5$ horas; FSO: 3,5%

Características Térmicas da Cobertura

- Leve isolada: $U \leq 2{,}00$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 3{,}3$ horas; FSO: 6,5%
- Leve refletora: $U \leq 3{,}00$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 4{,}3$ horas; FSO: 5,0%
- Pesada: $U \leq 3{,}00$ W/(m^2.K); $\Psi \leq 4{,}3$ horas; FSO: 5,0%

Sendo: U: transmitância térmica; Ψ: atraso térmico; FSO: fator solar.

Tabela 5 – Estratégias para condicionamento térmico passivo para cada zona bioclimática.

Estratégia recomendada	Zona bioclimática
Inverno: Aquecimento solar da edificação	1, 2, 3 e 4
Inverno: Vedações internas pesadas (inércia térmica)	1, 2, 3, 4, 5 e 6
Verão: Ventilação cruzada	2, 3 e 5
Verão: Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna é superior à externa)	4, 6 e 7
Verão: Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento	4, 6 e 7
Verão: Ventilação cruzada permanente	8

Embora a NBR 15220-3 procure promover um desempenho térmico satisfatório sem a utilização de sistemas mecânicos de condicionamento térmico, em alguns casos a normativa deixa claro que não é possível. Para as zonas bioclimáticas 1 e 2 a NBR 15220-3 indica que o condicionamento passivo será insuficiente no período mais frio do ano. Enquanto que para a zona bioclimática 8 a NBR 15220-3 deixa claro que o condicionamento passivo será insuficiente no período mais quente do ano.

7.1.3.1

REVISÃO ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO E DIRETRIZES CONSTRUTIVAS

A divisão do território brasileiro em zonas bioclimáticas baseou-se na semelhança dos climas. Porém essa divisão é questionada, uma vez que a semelhança entre os climas é falha em alguns casos. Por conta da escassez de dados medidos em algumas regiões, como no norte do país, diversas cidades foram agrupadas na zona bioclimática 8 sem uma avaliação profunda das suas características climáticas. Por exemplo, as cidades do Rio de Janeiro (RJ) e de Belém (PA) estão localizadas na zona bioclimática 8, mas são cidades distintas quanto ao clima, como pode-se observar na Figura 2. Na cidade do Rio de Janeiro existe uma grande variação da temperatura de bulbo seco (TBS) e da umidade relativa (UR) durante os meses do ano, já em Belém essas variáveis climáticas têm menor amplitude ao longo do ano. Dessa forma, se forem definidas estratégias bioclimáticas a serem implementadas nas edificações, de acordo com as zonas bioclimáticas brasileiras, as recomendações podem ser inadequadas para essas cidades que foram classificadas de maneira equivocada.

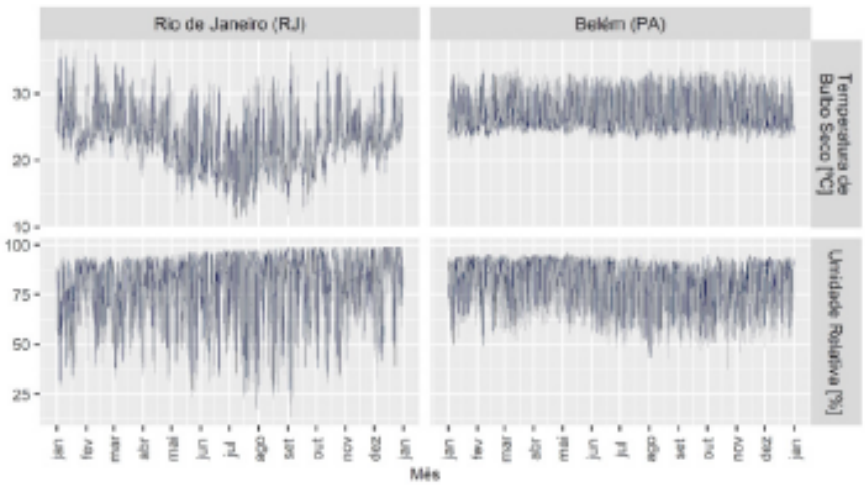


Figura 2 – Temperatura de bulbo seco e umidade relativa do Rio de Janeiro (RJ) e de Belém (PA).

Verificando a necessidade de revisão do zoneamento bioclimático, diferentes estudos buscaram reclassificar as cidades brasileiras, com destaque para as pesquisas desenvolvidas por Roriz (2012a; 2012b; 2014). No estudo, ao invés das oito zonas bioclimáticas definidas na NBR 15220 (ABNT, 2005), foram propostos 24 grupos climáticos. Para a elaboração dessa proposta, foram utilizados os dados climáticos obtidos de dados diários históricos de estações meteorológicas de 610 municípios. Para as cidades sem esses dados, os valores foram obtidos por meio de regressão linear múltipla. A proposta publicada por Roriz (2012a; 2012b; 2014) baseia-se na utilização de quatro parâmetros para classificar os climas: média anual da temperatura do ar; diferença entre a maior e a menor temperatura média mensal; média anual da amplitude térmica; e diferença entre a maior e a menor amplitude térmica mensal. Essa classificação das cidades brasileiras em grupos climáticos está sendo adotada no novo método de etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas (BRASIL, 2018). Recentemente, Mazzaferro *et al.* (2020) propuseram um novo zoneamento bioclimático utilizando como método o conceito de "Árvore de Decisão – Decision Tree". Os autores dividiram os climas brasileiros com base em simulações de desempenho termo energéticas de edificações comerciais hipotéticas, considerando a carga térmica de refrigeração, a influência do entorno e também os diferentes climas brasileiros. A combinação das variáveis climáticas com o uso de simulações de desempenho termo energéticas demonstrou resultar em um zoneamento bioclimático satisfatório, quando os resultados obtidos foram comparados com os zoneamentos bioclimáticos descritos na NBR 15220 e na proposta de Roriz (2012a; 2012b; 2014). O estudo destaca a necessidade do desenvolvimento do zoneamento bioclimático com base em tipologias de edificações, uma vez que as características climáticas que auxiliam na melhoria do desempenho térmico para determinadas tipologias, podem não refletir na melhoria do desempenho térmico para outras tipologias. A análise de variáveis climáticas, por exemplo, juntamente com indicadores de desempenho térmico pode auxiliar no desenvolvimento de um zoneamento bioclimático mais acurado para a análise de desempenho térmico de edificações residenciais.

7.1.4

PARTE 4 e 5: MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA E DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO PRINCÍPIO DA PLACA QUENTE PROTEGIDA E PELO MÉTODO FLUXIMÉTRICO

As partes 4 e 5 da NBR 15220 são a réplica de normativas internacionais dos procedimentos de medição da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais e componentes, realizados em laboratório. Dessa maneira, as partes 4 e 5 da NBR 15220 serão revisadas, e a tendência é que referenciem as normativas internacionais que as originaram. No Quadro 1 é possível ver a relação entre a normativa internacional e parte da norma NBR 15220.

Quadro 1 – NBR 15220 partes 4 e 5 e normativas internacionais relacionadas.

NBR 15220-4 Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida	**ISO 8302:** 1991 -Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus (ISO, 1991) **ASTM C177** - Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM, 2019)
NBR 15220-5 Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico	**ISO 8301:**1991 - Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus (ISO, 1991) **ASTM C518** - Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus (ASTM, 2017)

7.1.5

REVISÃO DA NBR 15220 E A REVISÃO DOS CAPÍTULOS DE DESEMPENHO TÉRMICO DA NBR 15575

A NBR 15220 é uma normativa com mais de 10 anos de publicação, consolidada no meio acadêmico e utilizada como base para a avaliação do desempenho térmico da normativa brasileira de desempenho de edificações residenciais, a NBR 15575 (ABNT, 2013). Entretanto, destaca-se a necessidade da revisão de muitas recomendações presentes na NBR 15220. Essa revisão está programada para o ano de 2021, visto que os capítulos de desempenho térmico da NBR 15575 já passaram por revisão no ano de 2020, e entraram em consulta pública no mesmo ano. Como consequência, os textos da NBR 15220 precisam ser revisados com base em conceitos e procedimentos desenvolvidos para a nova proposta de avaliação de desempenho térmico da NBR 15575. Na revisão dos capítulos de desempenho térmico da NBR 15575, buscou-se tornar a avaliação de desempenho mais dinâmica, permitindo maior liberdade aos projetistas. O procedimento simplificado de avaliação traz critérios já consolidados, como por exemplo, o percentual de abertura para ventilação e as propriedades térmicas para paredes externas e cobertura. Além desses critérios, na nova proposta foi definido o percentual de elementos transparentes, sendo que o valor máximo varia conforme as características do ambiente e/ou latitude do local em que a edificação está inserida. Quanto ao procedimento de simulação, as mudanças foram significativas, tornando a avaliação mais completa e robusta. Dentre os principais pontos de mudança no procedimento de simulação computacional, pode-se citar a avaliação anual, a utilização da edificação de referência como base de comparação, a consideração das cargas internas de maneira a simular a edificação no período de pós-ocupação, a consideração da edificação ventilada naturalmente ou condicionada artificialmente, e os indicadores de desempenho térmico. Na Tabela 6 é possível visualizar em mais detalhes essas alterações entre a versão de 2013 (ABNT, 2013) e a nova proposta do item desempenho térmico da NBR 15575 (LABEEE, 2020). A aplicação dessas e outras modificações no procedimento de simulação computacional, permite aos projetistas uma maior liberdade de escolha na consideração das estratégias bioclimáticas. Além disso, a possibilidade da consideração de indicadores que considerem a edificação durante o seu período ocupado, considerando a edificação naturalmente ventilada e com condicionamento artificial, permite avaliar de modo completo as formas de uso da residência.

Tabela 6 – NBR 15575: Comparação entre procedimento de simulação computacional atual e proposto

NBR 15575 atual (ABNT, 2013)	NBR 15575 proposta (LABEEE, 2020)
Análise de um dia típico de verão e de inverno.	Análise anual.
Indicador único: - Diferença entre temperatura interna e externa do ambiente.	Indicadores: Relacionados à temperatura operativa da unidade habitacional de acordo com o clima do local em que a edificação está inserida: - Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa[1] (PHFT); - Temperatura operativa anual máxima (Tomáx); - Temperatura operativa anual mínima (Tomín). Relacionado ao uso de condicionamento artificial para climatização da residência: - Carga térmica total (refrigeração e aquecimento - quando requerido) (CgTT).
Simulação de um modelo único, sem cargas internas.	Simulação da edificação no Modelo Real e no Modelo de Referência (abaixo do nível mínimo de desempenho térmico), com cargas internas (iluminação, equipamentos e pessoas).
Possibilidade de considerar uma renovação de ar fixa na unidade habitacional. Não considera o uso de equipamento de ar condicionado.	Simulação de dois modelos: - Unidade habitacional ventilada naturalmente; e - Unidade habitacional condicionada artificialmente.

[1]A faixa de temperatura operativa varia de acordo com a temperatura de bulbo seco média (TBS_m) do local:
- Intervalo 1: $TBS_m < 25\ ^oC \Longrightarrow$ faixa de PHFT entre 18 ºC e 26 ºC
- Intervalo 2: $25\ ^oC \leq TBS_m < 27\ ^oC \Longrightarrow$ faixa de PHFT abaixo de 28 ºC
- Intervalo 3: $TBS_m \geq 27\ ^oC \Longrightarrow$ faixa de PHFT abaixo de 30 ºC

Retornando ao conceito de zona bioclimática, dentre as análises que serviram para o desenvolvimento da proposta do procedimento de simulação computacional da NBR 15575, foi possível visualizar a variação do desempenho térmico para uma mesma edificação, localizadas na mesma zona bioclimática (NBR 15220). Na Figura 3 e Figura 4 é possível visualizar essa variação no desempenho. Na Figura 3 é apresentado o PHFT (Percentual de horas ocupadas dentro de uma faixa de temperatura operativa) e na Figura 4 é apresentado o valor da CgTT (Carga térmica total (refrigeração e aquecimento - quando requerido), considerando a mesma edificação, mas para diferentes cidades dentro das oito zonas bioclimáticas.

Figura 3 – PHFT para cidades de diferentes zonas bioclimáticas.

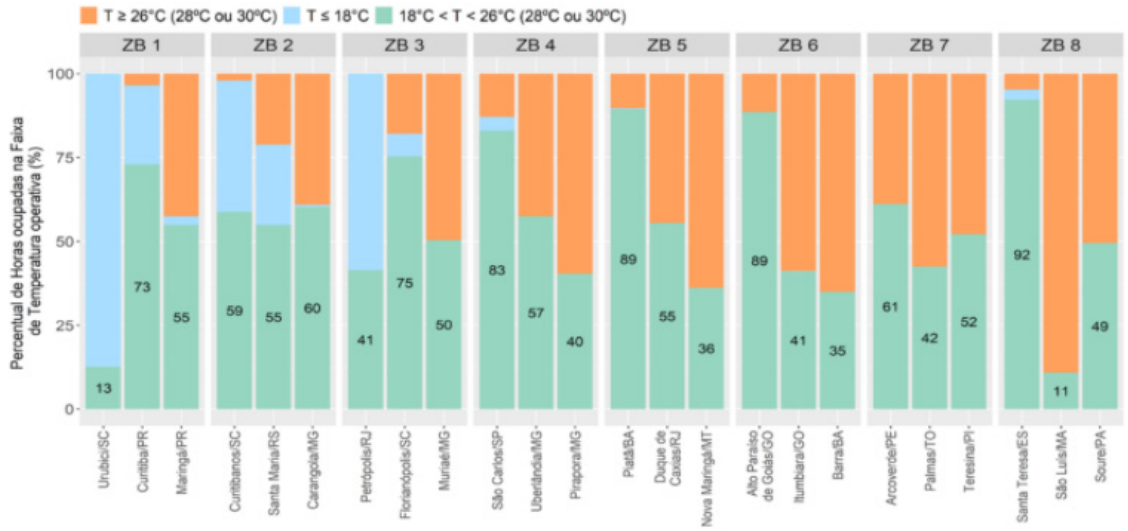
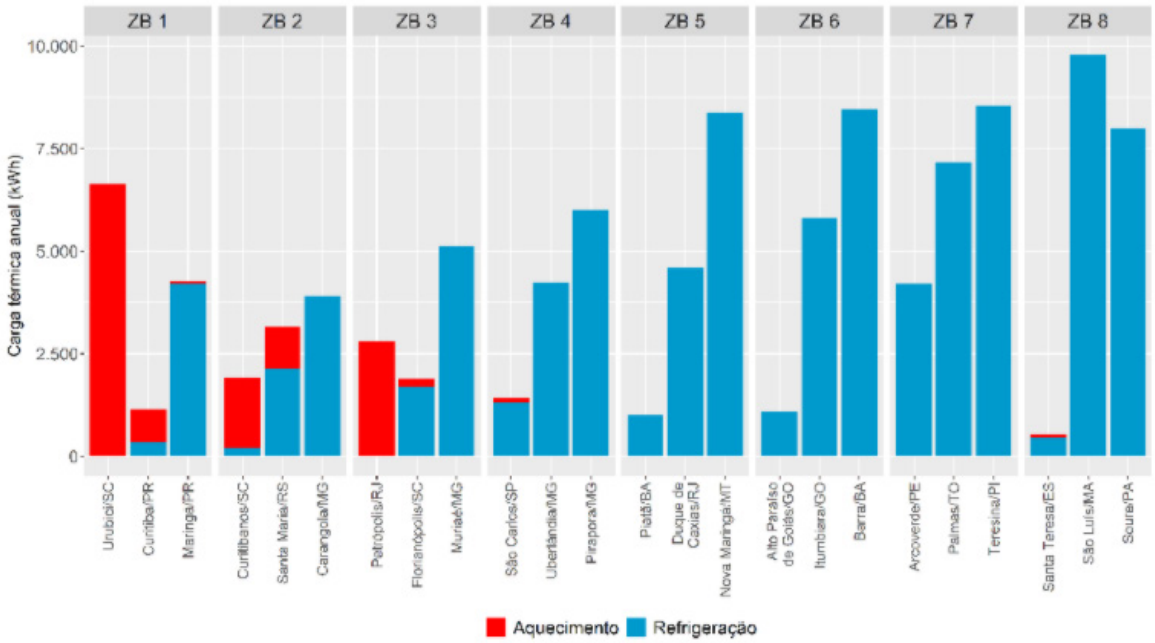


Figura 4 – CgTT para cidades de diferentes zonas bioclimáticas



Na Figura 3 e Figura 4 é possível analisar que dentro de uma mesma zona bioclimática podemos ter desempenho térmico muito distintos. Por exemplo, na zona bioclimática 1 (ZB1), para a cidade de Urubici/SC o PHFT chegou ao valor de 13%, enquanto que na cidade de Curitiba/PR o valor foi de 73%, e na cidade de Maringá/PR foi 55%. No resultado da CgTT, é possível visualizar também que enquanto a cidade de Urubici/SC necessita somente de carga térmica de aquecimento, a cidade de Maringá/PR, praticamente, utiliza somente a carga térmica de refrigeração. Isso demonstra que, caso fossem consideradas as mesmas estratégias construtivas determinadas na NBR 15220 para essas cidades, algumas poderiam alcançar um desempenho térmico satisfatório, enquanto que outras poderiam influenciar no sobreaquecimento da edificação caso as estratégias consideradas fossem consideradas

para o período de inverno. O desempenho térmico de uma edificação depende de diversos fatores. A indicação que o uso da ventilação cruzada é suficiente para manter o desempenho térmico da edificação no período de verão, ou o uso de massa térmica como estratégia de condicionamento térmico passivo, não se demonstra como um procedimento aceitável para o alcance do desempenho térmico desejável. Em análises desenvolvidas para a validação dos procedimentos da proposta de emenda da NBR 15575, foi possível visualizar que a combinação de diferentes estratégias bioclimáticas influencia, significativamente, no desempenho térmico de uma edificação. Por exemplo, para cidades com climas mais quentes, pode-se recomendar o uso de sistemas construtivos pesados, o aumento da área de abertura para ventilação, a aplicação de cores claras nas vedações externas e o sombreamento. Porém, se optar por um sistema construtivo leve e isolado, outras estratégias combinadas também podem atingir o desempenho térmico satisfatório. Portanto, destaca-se a importância da consideração das características climáticas do clima que a edificação será inserida para a obtenção de edificações mais confortáveis e ao mesmo tempo eficientes energeticamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

ASTM C518-17, **Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org

ASTM C177-19, **Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** 2018, p. 122.

ELETROBRAS; PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH BRASIL 2019)**. Brasil. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/BRASIL.pdf>.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building,** vol.18, Amsterdan, 1992.
ISO - International Organization for Standardization, ISO 8301:1991: Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus. Vernier, Geneva, Switzerland. 1991.

ISO - International Organization for Standardization, **ISO 8302:1991: Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Guarded hot plate apparatus.** Vernier, Geneva, Switzerland. 1991.

LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Relatório interno: Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais pela NBR 15575** - versão outubro 2020. Florianópolis, Brasil, 2020.

MAZZAFERRO, Leonardo *et al.* **Do we need building performance data to propose a climatic zoning for building energy efficiency regulations?** Energy and Buildings, [s. l.], v. 255, p. 1–13, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU (1971). **Climate and House Design: Design of Low-cost Housing and Community Facilities**, Volume 1, New York: United Nations.
PROJETEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov. br/>. Acesso em: nov. 2020.

RAMOS, Greici *et al.*, **Adaptive behaviour and air conditioning use in Brazilian residential buildings**, Build. Res. Inf. 0 (2020) 1–16. https://doi.org/10.1080/09613218.2020.1804314.

RORIZ, M. **Classificação de climas do brasil – versão 3.0.** ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do brasil.** ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012b.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro.** ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012a.

SUGAHARA, S., 1999. **Normais climatológicas das estações de superfície do Brasil, para o período de 1961-1990.** Instituto de Pesquisas Meteorológicas/UNESP, Campus Bauru, São Paulo, SP.

WALSH, Angélica; CÓSTOLA, Daniel; LABAKI, Lucila Chebel. **Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs. Building and Environment,** [s. l.], v. 112, p. 337-350, 2017.

Esta apostila foi elaborada pela Prof. Dra. Ana Paula Melo, com participação da Prof. Letícia Eli e Prof. Dr. Roberto Lamberts, e é parte integrante dos Diálogos sobre Eficiência Energética por zonas Bioclimáticas, sendo propriedade do Projeto EEDUS.